نظرية كل شيء

أصل ومصير الكون

- نظرية كل شيء، أصل ومصير الكون
- ستيفن هوكينغ
- ترجمة وتعليق / يوسف البناي
- الطبعة السابعة ٢٠٢٢

مركز العلوم الطبيعية

الموقع الإلكتروني: www.naturalsciences.info البريد الإلكتروني: darnaturalscience@gmail.com

تويتر / انستقرام: مركز العلوم الطبيعية@natural_scie

للتواصل مع المترجم:

بريد إلكتروني/ youssef.albanay86@gmail.com تويتر/ @youssefalbanay

---

مكتبة الكويت الوطنية
رقم الإيداع: 0429 / 2018
الردمك: 978-9921-0-0130-3

نظرية كل شيء

أصل ومصير الكون





المحتويات

مقدمة المترجم

هذه هي تجربتي الأولى في ترجمة أحد كتب أدبيات الفيزياء. لقد قمت من قبل بتقديم بعض الترجمات لبعض الوثائقيات الجميلة المنشورة في يوتيوب مثل سلسلة (نسيج الكون) الرائعة التي قدمها برايان غرين. وأغلب من عرفني عن طريق الكتب قد عرفني من خلال كتبي الثلاثة المتعلقة بالنظرية النسبية الخاصة والعامة وميكانيكا الكم. وها هو ذا رابع كتاب يحمل اسمي لكن هذه المرة كمترجم وليس كمؤلف.

ستيفن دبليو هوكينغ، هو تقريباً أشهر عالم فيزياء مازال على قيد الحياة. وقد اكتسب تلك الشهرة عندما نشر كتابه (موجز تاريخ الزمن) في ثمانينيات القرن الماضي. ذلك الكتاب الذي حقق ملايين المبيعات وقد تم ترجمته إلى أكثر من خمسة وثلاثين لغة. فما الذي كان مميزاً في ذلك الكتاب؟ الإجابة هو أنه كان من أوائل الكتب التي بسطت أعقد مواضيع الفيزياء وقدمتها إلى الجمهور العام بشكل رائع وبلغة مفهومة للجميع. لقد كان هوكينغ يشعر بالتعاطف الشديد مع عامة الناس ويود باستمرار أن يخبرهم عن جمال وعظمة الكون. وهذا، برأيي، ما جعل هوكينغ يحظى بكل تلك الشهرة والتقدير. ببساطة، لقد كسر الحاجز الذي يفصل عالم الفيزياء عن الجمهور العام وبدأ يتحدث معهم بلغة بسيطة وجذابة، لا تخلو من الظرافة، حول كيفية عمل الكون وما فيه. ومنذ ذلك الوقت ألهم هوكينغ الكثير من علماء الفيزياء المختصين، وقد كسروا بالفعل الحاجز الذي بينهم وبين الناس وبدأوا بتحبيب الجمهور بالعلوم بشكل عام والفيزياء بشكل خاص، سواء عن طريق الكتابة أو تقديم البرامج أو غيرها من طُرق التواصل.

في سلسلة المحاضرات هذه، يُغطي هوكينغ كل شيئ من حجج أرسطو حول كروية الأرض إلى اكتشاف هابل بحقيقة تمدد الكون، ثم يروي لنا قصة نظرية الانفجار العظيم، ويعرج بعدها إلى موضوعه المفضل: الثقوب السوداء والتي وصفها بأنها تشبه "البحث عن قطة سوداء في قبو فحم"، وأخيراً يحدثنا عن حلم النظرية النهائية التي سيُشكل العثور عليها "النصر النهائي للعقل البشري".

إضافة إلى ذلك، فقد كنت حريصاً جداً على وضع عدة ملاحظات في كل فصل حول كل نقطة رأيت أنها في حاجة إلى شرح أكثر، وذلك ليبقى القارئ في اتزان متواصل أثناء قراءته وأيضاً ليعزز حصيلته العلمية في هذه الرحلة

الاستكشافية الكونية الملهمة. أيضاً عليّ التنويه هنا أن سلسلة المحاضرات هذه قد ألقاها هوكينغ في تسعينيات القرن الماضي. ومنذ ذلك الوقت قد حدثت أشياء كثيرة في الفيزياء، لذا وضعت عدة ملاحظات أخرى حول ما تم إثباته بالتجربة وما لم يتم إثباته حتى الآن.

أتمنى لك رحلة ممتعة ...

يوسف البناي سبتمبر ٢٠١٧

مقدمة المؤلف

في سلسة المحاضرات هذه سأحاول شرح الخطوط العريضة لما نعتقد أنه يمثل تاريخ الكون من الانفجار العظيم إلى الثقوب السوداء. في المحاضرة الأولى، سأستعرض بإيجاز الأفكار السابقة حول الكون وكيف وصلنا إلى ما وصلنا إليه الآن. يمكنك أن تسمي ذلك التاريخ (تاريخ الكون).

في المحاضرة الثانية، سأصف كيف أدت نظريتا نيوتن وآينشتاين في الجاذبية إلى استنتاج أن الكون لا يمكن أن يكون ساكناً. فإما أن يتمدد أو أن ينكمش. وهذا يعني ضمناً أنه في وقت ما قبل حوالي عشرة إلى عشرين بليون [1] سنة كان الكون لا متناهي الكثافة. وهذا ما نسمية الانفجار العظيم. وهو ما يفتح إمكانية أن يكون للكون بداية.

في المحاضرة الثالثة، سوف أتحدث عن الثقوب السوداء. تتشكل تلك الثقوب عندما ينهار نجم ضخم على نفسه تحت تأثير ثقل الجاذبية الخاص به. فوفقاً لنظرية آينشتاين في النسبية العامة، أي شخص أحمق بما فيه الكفاية ليقع داخل ثقب أسود سوف يضيع إلى الأبد. لن يتمكن أبداً من الخروج من الثقب الأسود مرة أخرى. سيسقط إلى ما يسمى بالفردانية Singularity. لكن النظرية النسبية العامة هي نظرية كلاسيكية، أي أنها لا تأخذ في الاعتبار مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم.

في المحاضرة الرابعة، سوف أصف كيف تسمح ميكانيكا الكم بتسريب الطاقة من الثقوب السوداء. الثقوب السوادء ليست سوداء تماماً كما كان يُعتقد!

في المحاضرة الخامسة، سأُطبق الأفكار الكمومية على الانفجار العظيم وأصل الكون. ما سيؤدي بنا يؤدي إلى فكرة أن الزمكان قد يكون محدوداً في المدى، لكن من دون حدود أو حواف. سيكون مثل سطح الأرض ولكن مع بعدين إضافيين اثنين.

في المحاضرة السادسة، سأبين كيف يمكن لهذا المقترح الحدودي الجديد أن يفسر سبب اختلاف الماضي عن المستقبل، رغم أن قوانين الفيزياء متناظرة زمنياً.

أخيراً، في المحاضرة السابعة، سأصف طريقة محاولتنا لإيجاد نظرية موحدة تشمل ميكانيكا الكم، الجاذبية، وجميع التفاعلات الأخرى للفيزياء. وإذا ما

حققنا ذلك، سنفهم الكون وموقفنا فيه.

ستيفن دبليو هوكينغ

المحاضرة الأولى

آفكار حول الكون

منذ زمن بعيد جداً، حوالي ٣٤٠ قبل الميلاد، في كتابه عن السماوات، كتب أرسطو اثنتين من الحجج الجيدة للاعتقاد بأن شكل الأرض يشبه كرة مستديرة بدلاً من كونها لوح مسطح. أولاً، أدرك أن خسوف القمر سببه يعود لتواجد الأرض بين الشمس والقمر. كان ظل الأرض على القمر دائرياً، ولا يصح ذلك إلا إذا كانت الأرض كروية. لو كانت الأرض مسطحة لكان الظل ممدوداً وبيضاوي الشكل، إلا إذا كان الكسوف يحدث في الوقت الذي تكون فيه الشمس فوق مركز القرص مباشرة.

ثانياً، عرف الإغريق من ترحالهم أن النجم القطبي يظهر أكثر انخفضاً من موقعه الأصلي في السماء عندما يُنظر إليه من الجنوب. فمن الاختلافات في الموقع الظاهري للنجم القطبي في اليونان ومصر، نُقل عن أرسطو أنه قَدَرَ من ذلك أن المسافة المنحنية حول الأرض تساوي أربعمائة ألف ستاديا Stadia . ولم يكن معروف بالضبط كم تبلغ وحدة الاستاديا، لكن قد تساوي حوالي مائتي ياردة. وهذا ما يجعل من تقديرات أرسطو مساوية حوالي لضعف الرقم المقبول حالياً.

أيضاً كان للإغريق حجة ثالثة بأن الأرض يجب أن تكون ككرة مستديرة؛ فلماذا يرى المرء أولاً أشرعة السفينة القادمة من الأفق أولاً وبعد ذلك يرى هيكل السفينة؟ لقد اعتقد أرسطو أن الأرض ثابتة وأن الشمس والقمر والكواكب

والنجوم تتحرك حول الأرض. كان يعتقد ذلك لأنه شعر، لأسباب صوفية، بأن الأرض هي مركز الكون وأن الحركة الدائرية هي الحركة الأكثر مثالية.

هذه الفكرة قد وضعها بطليموس في القرن الأول الميلادي في أول نموذج كوني كامل. كانت الأرض تقبع في المركز، محاطة بثمانية أفلاك، تحمل القمر والشمس والنجوم والكواكب الخمسة المعروفة آنذاك: عطارد، الزهرة، المريخ، المشتري، وزحل. الكواكب نفسها تدور في دوائر أصغر مربوط كل منها في فلكها (الدائرة الأكبر) الذي يدور حول الأرض، وذلك لحساب مساراتها المعقدة الملحوظة في السماء. والكرة السماوية الخارجية كانت تحمل ما يسمى بالنجوم الثابتة، والتي تبقى دائماً في نفس مكانها بالنسبة لبعضها البعض ولكن هي تدور أيضاً عبر السماء. أما ما وراء الكرة السماوية الخارجية فلم يكن واضحاً أبداً، لكنه بالتأكيد ليس جزءاً من الكون البشري الملحوظ.

لقد وفر نموذج بطليموس نظاماً دقيقاً بشكل معقول للتنبؤ بمواقع الأجرام السماوية في السماء. ولكن من أجل التنبؤ بهذه المواقع بشكل صحيح، كان على بطليموس أن يفترض أن القمر يتبع مساراً بحيث يظهر مرتين بالقرب من الأرض كما في أوقات أخرى. وهذا يعني أن القمر في بعض الأحيان يظهر مرتين أكبر من حجمه المعتاد. لقد كان بطليموس على معرفة بهذا الخلل، ولكن رغم ذلك كان نموذجه بشكل عام، وإن لم يكن كونياً، مقبولاً. وقد تم اعتماده من قبل الكنيسة المسيحية كصورة للكون وفقاً للكتاب المقدس. كان له ميزة عظيمة بأن ترك الكثير من المساحة خارج الكرة السماوية الخارجية للجنة والنار.

ومع ذلك تم اقتراح نموذج أبسط بكثير في عام ١٥١٤ بواسطة الكاهن البولندي، نيكولاس كوبرنيكوس. في البداية، خوفاً من اتهامه بالهرطقة، نشر كوبرنيكوس نموذجه تحت اسم مجهول الهوية. كانت فكرته تكمن في جعل الشمس ثابتة في المركز وأن الأرض وبقية الكواكب تتحرك بمدارات دائرية حول الشمس. للأسف، لم تُؤخذ فكرته على محمل الجد إلا بعد مرور قرن من الزمن. حيث بدأ اثنان من علماء الفلك؛ الألماني يوهانس كبلر، والإيطالي غاليليو غاليلي، بدعم نظرية كوبرنيكوس علناً، رغم أن المدارات التي تنبأت بها النظرية الكوبرنيكية لا تتطابق مع المدارات التي لوحظت. وجاءت وفاة نظرية أرسطو- **بطليموس عام ١٦٠٩. ففي ذلك العام بدأ جاليليو بمراقبة السماء بواسطة تلسكوبه، الذي اخترعه هو بنفسه.**

عندما نظر إلى كوكب المشتري، وجد جاليليو أنه كان مصحوباً بعدد من الأقمار الصغيرة، التي كانت تدور حوله. وهذا يدل على أنه ليس كل شيئ يدور حول الأرض كما اعتقد كل من أرسطو و بطليموس. وبطبيعة الحال، كان من

الممكن الا**عتقاد بأن الأرض كانت ثابتة في وسط الكون، ولكن أقمار المشتري تتحرك على مسارات معقدة للغاية حول الأرض، مما يعطي انطباع أنها تدور حول كوكب المشتري. لكن، كانت نظرية كوبرنيكوس أبسط بكثير في تفسير سلوك هذه المسارات.**

وفي نفس الوقت تقريباً، عدل كبلر نظرية كوبرنيكوس، باقتراحه أن الكواكب لا تتحرك بشكل دائري، بل بشكل بيضاوي أو إهليلجي. وأخيراً تطابقت التنبؤات مع الملاحظات. أما بالنسبة إلى كبلر، فقد كانت هذه المدارات الإهليلجية مجرد فرضية خاصة، بل قبيحة نوعاً ما، لأن المدارات البيضاوية أقل كمالاً من المدارات الدائرية. وبعدما تم اكتشاف، عن طريق الصدفة تقريباً، أن المدارات الإهليلجية تتلائم مع الملاحظات التجريبية بشكل ممتاز، **لم يتمكن من التوفيق مع فكرته بأن الكواكب تدور حول الشمس بواسطة قوى كهرومغناطيسية.**

ولم يتم تقديم تفسير أكثر من ذلك إلا بعد مرور فترة طويلة من الزمن، عام ١٦٨٧، عندما نشر نيوتن كتابه برنكيبيا (**المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية**). ربما **كان هذا أهم عمل فردي تم نشره على الإطلاق في العلوم الطبيعية.** في هذا الكتاب، لم يطرح نيوتن فقط نظرية حول كيفية تحرك الأجرام في الفضاء والزمن، بل أيضاً وضع الرياضيات اللازمة لتحليل تلك **الحركات. بالإضافة إلى ذلك، وضع نيوتن قانوناً شاملاً للجاذبية. وقال أن كل جسم في الكون ينجذب نحو كل جسم آخر بقوة تشتد مع كبر كتلة الجسم والمسافة بينهما. وهذه القوة هي نفسها المسؤولة عن سقوط الأجسام حول الأرض. وبالمناسبة، قصة سقوط تفاحة على رأس نيوتن هي على الأرجح مجرد اسطورة وليست حقيقة.** كل ما قاله نيوتن عن نفسه أنه اكتشف فكرة الجاذبية عندما كان في مزاج تأملي وهو يرى تفاحة تسقط أمامه.

بحسب قانونه، بين نيوتن أن الجاذبية هي من يجعل القمر يتحرك في مدار بيضاوي حول الأرض وهي من تجعل الأرض وبقية الكوا**كب يتحركون بمدارات بيضاوية حول الشمس.** لقد تخلص النموذج الكوبرنيكي من أفلاك بطليموس السماوية، وتخلص أيضاً من فكرة أن للكون حدوداً **طبيعية. لم تُظهر النجوم الثابتة، في نموذج بطليموس، أي تغيير في مواقعها النسبية عندما تدور الأرض حول الشمس.** لذلك، بات من الطبيعي افتراض أن النجوم الثابتة هي أجرام مثل شمسنا لكنها بعيدة جداً. وأثار ذلك مشكلة. أدرك نيوتن أنه وفقاً لنظرية الجاذبية، يجب على النجوم أن تجذب بعضها البعض، لذلك، يبدو أنها من المستحيل أن تظل ساكنة في الكون. وإلا ستتساقط جميعها **في نقطة واحدة؟!**

في رسالة له عام ١٦٩١ إلى ريتشارد بنتلي، أحد المفكرين البارزين في زمانه، جادل نيوتن بأن انهيار النجوم على بعضها سيحدث فعلاً إن كان هناك عدد محدود من النجوم. لكنه، من ناحية أخرى، قال أنه لو كان هناك عدد لا محدود من النجوم وموزعة بشكل متساوٍ في الفضاء اللامتناهي، فلن يحدث ذلك الا**نهيار لأنه لن يكون هناك نقطة مركزية لتقع عليها كل النجوم.** هذه الحجة هي مثال للمأزق الذي يواجهه المرء عندما يتحدث أحدهم عن فكرة **اللانهاية.**

في الكون اللامتناهي، يمكن اعتبار أن كل نقطة تمثل المركز، لأنه كل نقطة ستكون محاطة **بعدد لا نهائي من النجوم حولها.** الفكرة الصحيحة، التي لم تُفهم إلا بعد مرور زمن طويل، كانت تكمن في النظر إلى الحالة المحدودة بحيث تتساقط النجوم على نفسها. قد يتسائل المرء كيف ستتغير الأمور لو أضفنا المزيد من النجوم الموزعة بشكل متساوٍ خارج تلك المنطقة. بحسب قانون نيوتن، فإن النجوم المضافة لن تُحدث أي فرق على الإطلاق بالنسبة للنجوم الأصلية، وبالتالي ستنهار على بعضها في أسرع وقت ممكن. يمكننا إضافة عدد ما نشاء من النجوم، كلها ستنهار على نفسها دائماً. نحن نعلم اليوم أنه من المستحيل أن يكون لدينا نموج للكون بحيث يكون ساكناً ولا متناهياً **والجاذبية فقط تجذب ولا تطرد!**

إنه حقاً لأمر مثير للاهتمام أن لم يقترح أي شخص أن الكون آخذ في التمدد أو الا**نكماش قبل القرن العشرين.** كان من المقبول عموماً أن الكون أزلي وفي حالة غير متغيرة أو أنه قد تم خلقه في وقت ما في الماضي البعيد لكن بنفس شكله الحالي تقريباً مباشرة. قد يرجع ذلك إلى ميل الناس للا**عتقاد بالحقائق الأبدية، وكذلك شعورهم بالراحة أنه رغم كونهم يكبرون ويموتون، فإن الكون لا يتغير.**

حتى أولئك الذين أدركوا أن نظرية نيوتن للجاذبية قد بينت أن الكون لا يمكن أن يكون ساكناً لم يعتقدوا أنه من الممكن أن يتوسع. بدلاً من ذلك، حاولوا تعديل النظرية باقتراح يجعل الجاذبية تعمل بشكل طارد في المسافات الكبيرة جداً. وهذا لم يؤثر كثيراً على توقعاتهم بشأن حركات الكواكب القريبة. لكنه سيسمح للتوزيع اللانهائي للنجوم بأن يظل في حالة توازن؛ حيث تتوازن النجوم القريبة من بعضها بسبب قوة الجاذبية بينهما مع القوى الطاردة التي تعمل في عكس اتجاه الجذب والقادمة **من النجوم البعيدة.**

ورغم ذلك، فإننا نعتقد الآن أن وجود مثل هذا التوازن سيكون غير مستقر. فلو كانت هناك نجوم قريبة بشكل كافٍ من بعضها فإن قوى الجذب بينها ستكبر وستتغلب على قوى الطرد البعيدة و التي تحاول عمل التوازن. وهذا يعني أن النجوم ستستمر في السقوط نحو **بعضها البعض.** من ناحية أخرى، إذا ابتعدت

النجوم عن بعضها البعض فستتغلب قوى الطرد على قوى الجذب وبالتالي ستتناثر **النجوم بعيداً عن بعضها البعض.**

اعتراض آخر على فكرة الكون الثابت يرجع عادة إلى الفيلسوف ا**لألماني هاينريش أولبرز. في الواقع، أثار معاصرون مختلفون في زمن نيوتن هذه المشكلة، ولم تكن مقالة أولبرز لعام ١٨٢٣ الأولى من نوعها التي احتوت على حجج معقولة حول هذا الموضوع.** بيد أن اهتمامه الواسع بالمسألة جعل اسمه مرتبطاً بشكل وثيق **بهذه الحجة.** تكمن الصعوبة في أن كل نقطة أو خط فارغ في الكون المستقر سيكون فيها نجم ما. وبذلك يجب أن تكون سماء الليل مضيئة تماماً **كما هو الحال في النهار!** لحل هذه المعضلة، اقترح أولبرز أن الضوء القادم من النجوم البعيدة سيخفت بسبب امتصاصه من قبل مادة ما تقع بيننا وبين ضوء النجوم. لكن مع ذلك، ستسخن تلك المادة ومن ثم سترسل هي نفسها ضوءاً **كبقية النجوم.**

والطريقة الوحيدة لتجنب استنتاج أن سماء الليل يجب أن تكون مشرقة مثل سماء النهار هو أن نفترض بأن النجوم لم تكن مشرقة منذ الأزل، **ولكنها اشتعلت في وقت ما من الماضي.** في هذه الحالة، لن تمتلك المادة الواقعة بيننا وبين النجوم البعيدة الوقت الكافي لتسخن وتطلق ضوءاً، أو أن الضوء القادم من تلك **النجوم البعيدة لم يصلنا بعد.** ولكن هذا الحل سيفتح علينا معضلة أخرى؛ فما الذي جعل النجوم تشتعل عند وقت معين دون غيره**؟!**

بداية الكون

مما لاشك فيه أن مسألة بداية الكون قد نوقشت منذ فترة طويلة جداً.وفقاً لعدد من علماء الكون القدماء في التقليد اليهودي/ المسيحي/ الإسلامي، بدأ الكون في لحظة زمنية محددة في ماضٍ ليس ببعيد جداً. أحد أسباب طرح هذه الفكرة هو الشعور بضرورة **أن يكون هناك مسبب لوجود ونشوء الكون.**

حجة أخرى قد طُرحت بواسطة القديس أوغسطين **في كتابه** {مدينة **الله**}. فقد أشار إلى أن الحضارة تتقدم، ونحن نتذكر القدماء الذين دفعوا الحضارة **للأمام. هكذا هو حال الإنسان وربما حتى الكون، ليس لهم وجود أزلي.** لو كنا أزليين فعلاً لكنا اليوم أكثر تقدماً **في حضارتنا مما نحن عليه.**

قَبِل القديس أوغسطين التاريخ الموجود في سفر التكوين والذي ينص على أن الكون قد بدأ حوالي قبل ٥٠٠٠ سنة قبل الميلاد. من الملفت للنظر أن هذا التاريخ ليس أقدم حتى من حقبة العصر الجليدي، حوالي ١٠٠٠٠ سنة قبل

الميلاد، وهو تاريخ بداية الحضارة فعلياً. من ناحية أخرى، لم يقبل أرسطو ولا جميع الفلاسفة اليونانيين الآخرين، فكرة أن للكون بداية لأنها تتطلب تدخلاً إلهياً. لقد آمنوا أن الجنس البشري والعالم كله كانوا موجودين على الدوام وسيظلون هكذا إلى الأبد. لقد رأى فلاسفة اليونان حجة أوغسطين الخاصة بتقدم الحضارة، وردوا عليها بقولهم أن هناك فيضانات دورية أو كوارث أُخرى تحدث مراراً وتكراراً مما يجعل الجنس البشري يعود دائماً إلى نقطة بداية الحضارة.

سواء آمن الناس بكون ثابت أو غير ثابت، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هو: هل موضوع بداية الكون برمته ينتمي لما وراء الفيزياء (الميتافيزيقا) وعلم اللاهوت؟ يمكن للمرء أن ينظر في كلتى تلك الحالتين؛ فإما أن الكون أزلي أو أنه قد تم دفعه للحركة في لحظة زمنية معينة بحيث يبدو وكأنه كان أزلياً. لكن حدث في عام ١٩٢٩ أن اكتشف ادوين هابل أن النجوم البعيدة تهرب بسرعة كبيرة عنا. بكلمات أخرى، الكون يتمدد. وهذا يعني أن الأجرام السماوية كانت قريبة جداً من بعضها البعض فيما مضى. في الواقع، بدى أنه في وقت ما في الماضي قبل حوالي عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة كانت كل الأجرام السماوية تقع في نقطة واحدة.

جلب هذا الاكتشاف، أخيراً، مسألة بداية الكون إلى حقل العلم. تشير ملاحظات هابل إلى أن هناك وقت ما يسمى الانفجار العظيم بحيث كان الكون لا متناهي الصغر، وبالتالي، لا متناهي الكثافة. لو كانت هناك أحداث قبل زمن الإنفجار العظيم، فإنها لا يمكن أن تؤثر على ما يحدث في الوقت الحاضر. ويمكن تجاهل وجودها لأنه لن يكون لها أي تأثير على أرصادنا.

قد يقول أحدهم إذا بدأ الوقت مع الانفجار العظيم فلا يمكن تعريف الوقت قبل تلك اللحظة. ينبغي التأكيد على أن بداية الزمن مع الإنفجار العظيم تختلف بشكل كلي عن بداية الزمن المعروفة لدينا. في كون ثابت، سيكون الزمن بمثابة شيئ قد تم إضافته بواسطة كيان خارج الكون. فلن تكون هناك ضرورة فيزيائية لبداية الكون. فبإمكانك تصور إله خلق الكون حرفياً في لحظة ما من الماضي. لكن من ناحية أخرى، الكون يتمدد، وبالتالي قد تكون هناك أسباب فيزيائية حول بداية الكون. مازال بالإمكان مع ذلك أن يتصور المرء بأن هناك إلهاً قد خلق الكون في لحظة الانفجار العظيم. ومن الممكن أنه قد خلق الكون قبل الانفجار العظيم وجعله يبدو لنا وكأنه بدأ بانفجار عظيم. لكنه سيكون الأمر بلا معنى أن نفترض أن الكون قد تم خلقه قبل الانفجار العظيم. الكون المتمدد لا ينفي وجود خالق، ولكن يضع حدوداً عليه عندما قام بعمله في الخلق!

المحاضرة الثانية

الكون المتوسع

إن شمسنا والنجوم القريبة منها ما هي إلا جزء من مجموعة واسعة من النجوم تُسمى درب التبانة. لفترة طويلة كان الاعتقاد السائد أن درب التبانة هي المجرة الوحيدة في الكون كله. لكن فقط في عام ١٩٢٤ أظهر الفلكي الأمريكي ادوين هابل أن مجرتنا ليست الوحيدة في الكون. في الواقع، كان هناك عدد مهول من المجرات مع وجود فراغات شاسعة بينها. ومن أجل إثبات ذلك كان هابل بحاجة إلى تحديد المسافات بين تلك المجرات. يمكننا تحديد مسافة النجوم القريبة منا عن طريق ملاحظة تغير موقعها وذلك عندما تدور الأرض حول الشمس. لكن تلك المجرات التي تبعد عنا مسافات شاسعة، على عكس النجوم القريبة، لا تظهر أنها تغير مواقعها أثناء دوران الأرض حول الشمس. لذلك، اضطر هابل إلى استخدام طُرق غير مباشرة لقياس المسافات.

إن القدر الظاهري [2] للنجم يعتمد على عاملين: ضياء النجم [3] وبعده عنا. بالنسبة للنجوم القريبة نستطيع قياس كلاً من سطوعها الظاهري وبعدها عنا، وبالتالي نستطيع تحديد درجة لمعانها. على عكس ذلك، إذا كنا نعرف قيمة لمعان النجوم في المجرات الأخرى، فإننا سنكون قادرين على تحديد مسافاتها من خلال قياس سطوعها الظاهري. جادل هابل أن هناك أنواعاً معينة من النجوم قريبة منا تمتلك نفس درجة اللمعان. لذلك، لو وجدنا مثل هذه النجوم في مجرة أخرى، فيمكننا افتراض أن لديهما نفس درجة اللمعان. وبالتالي

نستطيع حساب المسافة إلى تلك المجرة. إذا استطعنا فعل ذلك لعدد من النجوم في نفس المجرة، وأعطتنا حساباتنا نفس المسافة دائماً، فبإمكاننا أن نثق بتقديراتنا للمسافات. بهذه الطريقة، استطاع ادوين هابل تحديد المسافات إلى تسعة مجرات مختلفة.

نعلم اليوم أن مجرتنا ليست سوى واحدة من عدة مئات آلاف الملايين من المجرات الأخرى التي يمكن مشاهدتها بالتلسكوبات الحديثة، وكل مجرة تحتوي على ما يقارب من مائة ألف مليون نجم. نحن نعيش في مجرة يبلغ قطرها مئة ألف سنة ضوئية [4] وتدور ببطئ؛ تدور النجوم التي تقع في ذراع المجرة الحلزوني حول مركز المجرة حوالي مرة واحدة كل مائة مليون سنة. شسمنا هي مجرد نجم عادي أصفر ومتوسط الحجم، تقع بالقرب من الحافة الخارجية لأحد أذرع المجرة. لقد قطعنا بالفعل شوطاً طويلاً منذ عهد أرسطو وبطليموس، عندما ظننا أن الأرض هي مركز الكون!

تقع النجوم على بعد شاسع عنا بحيث تظهر لنا وكأنها نقطة صغيرة من الضوء. وبالتالي لا يمكننا تحديد حجمها أو شكلها. فكيف يمكننا إذن الحديث عن نجوم مختلفة في أنواعها؟ بالنسبة للغالبية العظمى من النجوم، هناك علامة مميزة واحدة فقط يمكن أن نلاحظها وهي لون الضوء القادم من النجم. لقد اكتشف نيوتن أن الضوء عند تمريره داخل منشور سيتحلل إلى مركباته المختلفة من الألوان (الطيف) كما نراه في قوس قزح. بالمثل، لو تم تركيز تلسكوب ناحية نجم معين، يمكن ملاحظة طيف ضوء ذلك النجم أو تلك المجرة. النجوم المختلفة لها أطياف مختلفة، ولكن السطوع النسبي للألوان المختلفة دائماً ما سيكون بالضبط كما نتوقع أن نجده في ضوء منبعث بواسطة جرم حار يتوهج احمراراً. وهذا يعني أنه باستطاعتنا أن نحدد درجة حرارة النجم من طيف النجم [5]. علاوة على ذلك، نجد أن بعض ألوان الطيف المميزة جداً مفقودة في بعض النجوم، وهذه الألوان المفقودة قد تختلف من نجم إلى نجم آخر. نحن نعلم أن كل عنصر كيميائي يمتص مجموعة مميزة من ألوان محددة جداً. وهكذا، من خلال مطابقة تلك الخطوط المفقودة من الطيف النجمي، يمكننا بالضبط تحديد العناصر الموجودة في الغلاف الجوي للنجم [6].

في عشرينيات القرن العشرين، عندما بدأ علماء الفلك في النظر إلى أطياف النجوم في المجرات الأخرى، وجدوا شيئاً أكثر غرابة: كان هناك فقد في نفس الألوان المميزة للنجوم التي تقع داخل مجرتنا، ولكن كان طيف تلك النجوم التي تقع في المجرات الأخرى ينزاح نحو اللون الأحمر من الطيف. كان التفسير الوحيد المعقول هو أن تلك المجرات تبتعد هاربة منا، حيث كان تردد موجات الضوء يتناقص أو ينزاح ناحية الأحمر بواسطة تأثير دوبلر [7]. استمع

إلى سيارة تمر على الطريق، إذا اقتربت منك، ستسمع صوتاً عالياً قادماً من محركها، وهو ما نطلق عليه تردداً عالياً في موجات الصوت، وعندما تبتعد عنك السيارة، ستقل حدة صوت المحرك، وهو ما نطلق عليه تردداً منخفضاً في موجات الصوت. سلوك الضوء وهو موجات كهرومغناطيسية مشابه تماماً لذلك. في الواقع، لقد استفادت الشرطة من تأثير دوبلر لقياس سرعة السيارات المسرعة بواسطة قياس تردد موجات الضوء الراديويه المنعكسة من السيارات.

في السنوات التي تلت برهانه لوجود مجرات أُخرى، أمضى هابل وقته في دراسة مسافاتها ومراقبة أطيافها. توقع أغلب الناس في ذاك الوقت أن المجرات تتحرك بشكل عشوائى تماماً، وبالتالي توقعوا وجود عدد من المجرات ينزاح طيفها ناحية الأزرق [8] بنفس عدد ما وجدوا من مجرات ينزاح طيفها ناحية الأحمر. ولكن كانت المفاجأة أن أطياف جميع المجرات ينزاح ناحية الأحمر. كل مجرة منفردة تهرب منا. وما هو مفاجئ أكثر من ذلك تلك النتيجة التي نشرها هابل عام ١٩٢٩: قيمة الانزياح ناحية الأحمر ليست عشوائية، بل تتناسب مع بعد المجرة عنا. أو، بكلمات أخرى، كلما كانت المجرة أبعد، كلما كانت أسرع في الهروب عنا. وهذا يعني أن الكون غير ثابت، كما ظن الجميع سابقاً، بل إنه في الواقع يتمدد. المسافة بين المجرات تزداد مع مرور الوقت.

إن اكتشاف حقيقة تمدد الكون يعتبر واحد من أعظم الثورات الفكرية العظيمة في القرن العشرين. بعد فوات الآوان، من السهل أن نتسائل لماذا لم يفكر بها أحد من قبل. نيوتن وغيره أدركوا أن الكون المستقر سينهار بسرعة تحت تأثير جاذبية الأجرام المختلفة. لكن لنفرض أنهم قالوا أن الكون يتمدد بدلاً من كونه ساكناً. إذا كان يتمدد ببطء، فإن قوة الجاذبية ستجعله في النهاية يتوقف عن التمدد ويبدأ بالانكماش. لكن، لو كان الكون يتمدد بمعدل أعلى من المعدل الحرج، فلن تكون الجاذبية قوية بما فيه الكفاية لإيقاف تمدده، وبالتالي سيواصل تمدده إلى الأبد. يشبه ذلك إطلاق صاروخ من الأرض باتجاه الأعلى، إذا كان الصاروخ يمتلك سرعة ضعيفة، ستوقفه الجاذبية في نهاية المطاف وبالتالي سيسقط ناحية الأرض. من ناحية أخرى، لو كانت سرعة الصاروخ أعلى من سرعة الإفلات [9]، والتي تساوي حوالي سبعة أميال في الثانية، فلن تكون الجاذبية قادرة على إيقافه، ومن ثم سيستمر في الهروب من الأرض إلى الأبد.

كان من الممكن توقع هذا السلوك من الكون من نظرية نيوتن في الجاذبية في أي وقت في القرن التاسع عشر، الثامن عشر، أو حتى في أواخر القرن السابع عشر. ولكن استمر الإيمان بالكون الثابت حتى أوائل القرن العشرين.

حتى عندما انتهى آينشتاين من صياغة النسبية العامة عام ١٩١٥، كان متأكداَ أن الكون يجب أن يكون ساكناً. لذلك قام بتعديل نظريته لجعل ذلك ممكناً، حيث أدخل ما يسمى الثابت الكوني في معادلاته. وكان ذلك بمثابة إدخال قوة "جاذبية مضادة"، وهي على عكس كل القوى الفيزيائية الأخرى، ليس لها مصدر معين، ولكنها قد بُنيت في صلب نسيج الزمكان. ثابته الكوني أعطى نزعة للزمكان لكي يتمدد، وهذا التمدد سيتوازن بالضبط مع قوة الانكماش الناتجة من كتل الأجرام، وبالتالي ستُلغي القوتان المتعاكستان بعضهما البعض والنتيجة هو كون مستقر.

إلا رجل واحد، على ما يبدو، كان على استعداد لأخذ النسبية العامة كما هي على ظاهرها. ففي حين كان آينشتاين وغيره من الفيزيائيين يبحثون عن طرق لتجنب تنبؤ النسبية العامة بكون غير مستقر، كان الفيزيائي الروسي آلكسندر فريدمان يتفنن في شرح ذلك التنبؤ في النسبية العامة.

نماذج فريدمان

إن معادلات النسبية العامة [10] والتي تُحدد كيف يتطور الكون مع مرور الزمن، مُعقدة للغاية لحلها بشكل تفصيلي. لذلك قام فريدمان بوضع افتراضين بسيطين جداً حول الكون: يبدو الكون أنه **متناظر تماماً من أي جهة ننظر إليه، وهذا الفرض ساري من أي مكان نراقب فيه الكون.** انطلاقاً من أسس النسبية العامة ومن هاتين الفرضيتين، بين فريدمان أنه لا يمكن توقع أن يكون الكون ثابتاً. في الحقيقة، عام ١٩٢٢، (قبل عدة سنوات من اكتشاف هابل)، **تنبأ فريدمان بالضبط بما وجده هابل.**

من الواضح أن فرضية تناظر الكون (أي أن له نفس الشكل في كل الاتجاهات) ليست صحيحة تماماً لو نظرنا إلي **الواقع.** فعلى سبيل المثال، النجوم الأخرى في مجرتنا تشكل خيطاً مميزاً **من الضوء يقطع سماء الليل يسمى درب التبانة.** لكن لو نظرت إلي المجرات البعيدة، سترى أنها موزعة بشكل أو بآخر بطريقة متساوية تماماً في كل الجهات. وبالتالي سيبدو أن الكون، تقريباً، له نفس الشكل على المقياس الواسع جداً، بدلاً من المقياس المحلي لل**مسافات بين المجرات.**

لفترة طويلة كانت تلك المبررات (أي النظر للكون على المستوى المحلي) كافية لاعتبار أن فرضِية فريدمانِ تقريب سيئ للكون الحقيقي. لكِن في الآونةِ

الأخيرة كشف حادثاً محظوظاً أن فرض فريدمان يُعطي وصفاً دقيقاً لافتاً للنظر لكوننا. ففي عام ١٩٦٥، كان هناك فيزيائيان أمريكيان، آرنو بنزياس و روبرت ويلسون، يعملان في مختبرات بيل في ولاية نيو جيرسي على تصميم جهاز لاقط للأشعة المايكروية [11] وذلك بهدف التواصل مع الأقمار الصناعية. كانا قلقين من ملاحظة أن جهازهما يلتقط مزيداً من الضجيج الإشعاعي أكثر مما ينبغي له، وهذا الضجيج يبدو **أنه لا يأتي من اتجاه معين.** ظنا في البداية أن سبب ذلك هو روث الحمام، وربما أعطال أ**خرى محتملة. ولكن سرعان ما تم استبعاد ذلك.** كانا يعرفان أن أي ضجيج إشعاعي قادم من داخل الغلاف الجوي سيكون أقوى إذا لم يكن الكاشف في وضع مستقيم في اتجاه السماء، وذلك لأن الغلاف الجوي يصبح أكثر سماكة عند النظر إليه بزاوية معينة مقارنة بالنظر إليه بشكل عمود**ي.**

كان للضجيج الإشعاعي نفس القيمة لأي تجاه يشير له اللاقط الراديوي، لذلك يجب أن يكون مصدره قادماً من خارج الغلاف الجوي. أيضاً كانت قيمته ثابتة **في الليل والنهار طوال العام، رغم أن الأرض تدور حول محورها وحول الشمس.** لقد أثبت ذلك قطعاً أن الإشعاع قادم من خارج المجموعة الشمسية، بل من خارج المجرة برمتها، وإلا لا**ختلفت قيمته كلما غيرت الأرض من اتجاه اللاقط.**

في الحقيقة، نحن نعلم أن هذا الإشعاع قد سافر إلينا عبر معظم الكون المرئي [12]. وطالما أن له نفس القيمة في اتجاهات مختلفة، فإن الكون يجب أن يكون هو نفسه في كل اتجاه، على الأقل على المدى الواسع. نحن ندرك الآن أنه في أي اتجاه ننظر إليه فإن قيمة هذا الإشعاع لا تتغير بأكثر من **جزء واحد من عشرة الآف جزء.** لذلك عثر بنزياس و ويلسون، **عن طريق الصدفة، على تأكيد استثنائي ودقيق لفرضية فريدمان الأولى.**

في نفس الفترة تقريباً كان هناك اثنان من علماء الفيزياء الأمريكيين في جامعة برينستون القريبة، بوب ديك و جيم بيبلز، كانوا مهتمين أيضاً بموضوع الأشعة الراديوية. حيث عملا على فكرة قد تم اقتراحها بواسطة جوروج غاموف، تلميذ ألكسندر فريدمان، تقتضي أن الكون المبكر يجب أن يكون حاراً وكثيفاً جداً، متوهجاً ساخن البياض. جادل كل من ديك وبيبلز بأنه مازال بإمكاننا رؤية ذلك التوهج، لأن الضوء القادم من أجزاء بعيدة جداً من الكون المبكر لن يصلنا إلا الآن. لكن هذا التوهج الشديد يجب أن ينزاح ناحية اللون الأحمر بسبب تمدد الكون حيث يبدو لنا الآن كإشعاع مايكروي. سمع بنزياس و ويلسون عن أفكار ديك و بيبلز وبحثهما عن هذا الإشعاع المتبقي من الانفجار العظيم وأدركا أنهما قد وجداه **بالفعل.** لذلك حصل بنزياس و ويلسون على

جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٧٨، وبالتأكيد لم يكن ذلك سهلاً على ديك و بيبلز.

الآن، ولأول وهلة، يبدو أن هذا الدليل على أن الكون يبدو له نفس الشكل أينما نظرنا إليه، يوحي بأن هناك شيئاً مميزاً **حول مكاننا في الكون. على وجه الخصوص، عندما نلاحظ أن كل المجرات تتحرك مبتعدة عنا، فهذا يعني أننا نقع في مركز الكون.** لكن، هناك تفسير بديل: سيبدو الكون وكأن له نفس الشكل في أي اتجاه تراه **عندما تكون في مجرة أخرى. وهذا، كما رأينا من قبل، هو افتراض فريدمان الثاني. ليس لدينا دليل علمي حول صحة أو بطلان هذه الفرضية.** إننا نؤمن بها على أساس تواضعنا. سيكون من الرائع جداً أن يكون للكون نفس الشكل في كل اتجاه من **حولنا، وليس فقط حول نقاط معينة في الكون. في نموذج فريدمان، كل المجرات تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض.** يشبه ذلك إلى حد كبير نفخ بالونة عليها نقاط حبر متفرقة. مع تمدد البالونة ستزداد المسافة بين نقاط الحبر، لكن لا توجد نقطة حبر يمكن القول بأنها **هي مركز التوسع.** بالإضافة إلى ذلك، كلما كانت المسافة بين البقع **كبيرة، كلما زادت سرعة ابتعادها عن بعضها البعض. بالمثل، في نموذج فريدمان تزداد سرعة الابتعاد بين مجرتين مع تزايد المسافة بينهما.** لذلك من المتوقع أن يزداد الانزياح ناحية الأحمر طردياً مع المسافة بيننا، وهو بالضبط ما وجده **هابل.**

رغم نجاح نموذجه وتنبئه بملاحظات هابل، ظل عمل فريدمان غير معروف إلى حد كبير في الغرب. ولم يُعرف إلا بعد اكتشاف نماذج مماثلة في عام ١٩٣٥ على يد الفيزيائي الأمريكي هوارد روبرتسون والعالم الرياضي البريطاني آرثر ووكر، استجابة لا**كتشاف هابل على توسع الكون الموحد.**

على الرغم من أن فريدمان وجد واحدة فقط، إلا أن هناك في الواقع ثلاثة نماذج مختلفة تُطيع فرضي فريدمان الأساسيين. في الحل الأول، الذي وجده فريدمان؛ يتوسع الكون ببطء كاف بحيث تعمل الجاذبية بين المجرات المختلفة على إبطاء التمدد و**إيقافه في نهاية المطاف. ومن ثم تبدأ المجرات في الحركة ناحية بعضها البعض مما يعني انكماش الكون.** المسافة بين أي مجرتين متجاورتين تبدأ من الصفر، ثم تزيد إلى **أقصى حد، ثم تتقلص مرة أخرى إلى الصفر.**

في الحل الثاني، يتمدد الكون بسرعة كبيرة جداً بحيث لا يمكن أن توقفه الجاذبية، رغم أنها تبطئه قليلاً. المسافة بين المجرات المتجاورة في هذا النموذج تبدأ من الصفر، ثم تبتعد عن بعضها البعض وفي نهاية المطاف تبقى مبتعدة عن بعضها **بسرعة ثابتة.**

أخيراَ، في الحل الثالث؛ يتوسع الكون بسرعة كافية لتجنب الانكماش على نفسه. في هذا الحل تبدأ المسافة بين المجرات أيضاً من الصفر، ومن ثم تزداد **إلى الأبد. ومع ذلك، فإن سرعة المجرات تصغر أكثر فأكثر، لكن لن تبلغ الصفر أبداً.**

الميزة الملحوظة في حل فريدمان الأول هو أن الكون متناهٍ في الفضاء، لكن دون أي يملك أي حدود. الجاذبية قوية بحيث أنها قادرة على ثني **الفضاء على نفسه، تماماً مثل سطح الأرض.** لو مشى شخص ما على سطح الأرض في اتجاه معين فلن يصطدم بحاجز أو يسقط عند حافة ما، **بل سيعود في نهاية المطاف إلى النقطة التي انطلق منها.** الفضاء، في نموذج فريدمان الأول، هو تماماً مثل سطح الأرض، لكن مع وجود ثلاثة أبعاد بدلاً من بعدين اثنين. **البعد الرابع (الزمن) هو أيضاً محدود في المدى، لكنه مثل خط مع نهايتين أو حدين، بداية ونهاية.** سنرى لاحقاً بأن محاولة جمع النسبية العامة مع مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم، تعطي إمكانية أن الزمان والمكان قد يكونان محدودين دون أي حواف أو حدود. فكرة أن المرء يعود للنقطة التي انطلق منها في الكون عندما يسير في خط معين هي فكرة جيدة للخيال العلمي، لكن ليس لها أهمية عملية كبيرة لأنه من الممكن أن نبين حتمية انهيار الكون على نفسه قبل **إتمام هذه الرحلة.** عليك أن تقوم بهذه الرحلة بسرعة أعلى من سرعة الضوء قبل أن ينهار الكون على نفسه، وهذا غير مس**موح به.**

لكن أي واحد من نماذج فريدمان يصف الكون حقاً؟ هل سيتوقف الكون في نهاية المطاف عن تمدده ويبدأ في الانكماش، أم سيتمدد إلى الأبد؟ إجابة هذا السؤال تحتاج إلى معرفة معدل تمدد الكون **الحالي ومتوسط الكثافة الحالية.** فإذا كانت الكثافة أقل من قيمة حرجة معينة، يحددها معدل التوسع، **ستكون الجاذبية ضعيفة جداً لإيقاف التمدد.** أما إذا كانت الكثافة أعلى من القيمة الحرجة، فإن الجاذبية ستوقف تمدد الكون في وقت ما في المستقبل وتسبب **إعادة انكماشه.**

يمكننا تحديد معدل توسع الكون، بدقة ممتازة، بقياس سرعة ابتعاد المجرات عنا، وذلك باستخدام **تأثير دوبلر.** لكن مع ذلك، لا نعرف بالضبط **بُعد المجرات عنا لأننا لا نستطيع قياسها إلا بشكل غير مباشر.** لذلك كل ما نعرفه هو أن الكون يتوسع بنسبة تتراوح ما بين ٥ إلى ١٠ في المائة كل ألف سنة [13]. ومع ذلك، فإن عدم يقيننا حول متوسط الكثافة الحالية للكون كبير.

لو أضفنا كتل كل النجوم التي نراها في مجرتنا والمجرات الأخرى، فإن المجموع أقل من واحد بالمائة **من الكمية المطلوبة لإيقاف تمدد الكون، حتى في أقل تقدير لمعدل التمدد.** ولكننا نعلم أن مجرتنا والمجرات الأخرى يجب

أن تحتوي على كمية كبيرة من المادة المظلمة [14] التي لا نستطيع رؤيتها مباشرة، ولكننا ندرك أنها يجب أن تكون موجودة بسبب تأثير جاذبيتها على مدارات النجوم والغاز في المجرات. وعلاوة على ذلك، توجد معظم المجرات على هيئة عناقيد [15]، وبالتالي استنتاج وجود مادة مظلمة أكثر بين المجرات في هذه العناقيد عن طريق تأثيرها على حركة **هذه المجرات.** عندما نضيف كل هذه المادة المظلمة، فإننا مازلنا نحصل فقط على واحد على عشرة من الكمية المطلوبة لإيقاف **تمدد الكون.** لذلك، قد يكون هناك شكل آخر من المادة التي لم نكتشفها بعد والتي ربما سترفع من متوسط كثافة الكون إلى القيمة الحرجة اللازمة لوقف تمدده.

تشير الأدلة الحالية إلى أن الكون قد يتوسع إلى الأبد. ولكن لا ضمان لذلك. كل ما يمكن أن نكون متأكدين منه فعلاً هو أنه حتى لو عاد الكون للانكماش، فلن يكون ذلك إلا في غضون عشرة آلاف مليون سنة، **على الأقل، منذ أن انطلق في توسعه الفعلي.** ولا ينبغي أن يقلقنا ذلك، فإن لم يكن لدينا مستعمرات خارج النظام الشمسي، فإن البشرية **ستكون قد انقرضت منذ وقت طويل، منذ أن انطفأت شمسنا وماتت.**

الإنفجار العظيم

كل حلول فريدمان لها ميزة واضحة، وهو أنه في وقت ما في الماضي، قبل عشرة إلى عشرين ألف مليون سنة [16]، كانت المسافة بين المجرات المتجاورة تساوي صفر. تلك اللحظة، **التي نسميها الإنفجار العظيم، كانت كثافة الكون وانحناء الزمكان لا متناهيين.** وهذا يعني أن النظرية النسبية العامة، والتي تستند عليها حلول فريدمان تتنبأ بوجود فردانية [17] **في الكون.**

إن كل نظرياتنا في العلوم تُصاغ على افتراض أن الزمكان أملس ومسطح تقريباً، لكن كل هذا ينهار عند فردانية الإنفجار العظيم، حيث يصبح انحناء الزمكان لا متناهٍ. وهذا يعني أنه حتى لو كانت هناك أحداث قبل الانفجار العظيم، فلا يمكن استخدامها لتحديد ما سيحدث بعد ذلك، لأن التنبؤ سينهار عند الانفجار العظيم نفسه. في المقابل، لو كنا نعرف فقط ما حدث منذ الانفجار العظيم، فلن نتمكن من معرفة ما حدث قبل الانفجار. وبقدر ما نشعر بالقلق، فإن الأحداث التي تقع قبل الانفجار العظيم لا يمكن أن تترتب عليها أي عواقب، لذلك يجب ألا تشكل أي جزء من النموذج العلمي للكون، ويجب أن نجتذها من النموذج ونُقر بأن الزمن له بداية مع الا**نفجار العظيم.**

كثير من الناس لا يحبون فكرة أن للزمن بداية، ربما لأنه يعارض فكرة التدخل الإلهي. (الكنيسة الكاثوليكية، من ناحية أخرى، قد تبنت الانفجار العظيم، **وفي عام ١٩٥١ أعلنت رسمياً أنه يوافق الكتاب المقدس)**. كان هناك العديد من المحاولات لتجنب استنتاج أن الكون قد بدأ با**نفجار عظيم**. وكان الاقتراح الذي حصل على أعلى **تأييد يسمى (نظرية الحالة المستقرة)**. تم اقتراح هذه النظرية عام ١٩٤٨ من قبل اثنين من اللاجئين من النمسا المحتلة من قبل **النازيين، هيرمان بوندي وتوماس غولد، مع البريطاني فريد هويل، الذي كان يعمل معهم على تطوير الرادار خلال فترة الحرب. كانت الفكرة كالتالي؛ عندما تبتعد المجرات عن بعضها البعض، تتشكل مجرات جديد في الفراغات المتروكة من مادة جديدة تُخلق باستمرار**. لذلك سيبدو الكون متشابهاً **في جميع الأزمنة وفي جميع نقاط الفضاء.**

لقد تطلبت نظرية الحالة المستقرة تعديل النسبية العامة للسماح بالخلق المستمر للمادة، ولكن المعدل المطلوب كان منخفضاً جداً، حوالي جسيم واحد لكل كيلومتر **مكعب في السنة، وهذا لا يتعارض مع التجربة**. كانت نظرية علمية جيدة، بمعنى أنها بسيطة، وتُعطي تنبؤات محددة يمكن اختبارها عن طريق الملاحظة. أحد هذه التنبؤات أن عدد المجرات أو الأجرام المماثلة في أي حجم معين في الفضاء يجب أن يكون هو نفسه أينما ومتى نظرنا إلى **الكون.**

في أواخر الخمسينيات وبداية الستينيات من القرن العشرين، أُجريت دراسة، في كامبريدج، لمسح مصادر الموجات الراديوية في الفضاء الخارجي من قبل علماء فلك بقيادة مارتن ريل. أظهرت مجموعة كامبريدج أن معظم هذه المصادر الراديوية يجب أن تقع خارج مجرتنا، وأن هناك مصادراً **أكثر ضعفاً من تلك الأقوى. فسروا ذلك بأن المصادر الضعيفة يجب أن تقع على مسافة أبعد والقوية على مسافة أقرب**. ثم بدا أن هناك عدداً **أقل من المصادر القريبة لكل وحدة حجم في الفضاء مقابل تلك البعيدة.**

كان الممكن أن يعني ذلك أننا نقع في مركز منطقة كبيرة في الكون بحيث تكون هناك **مصادر أقل من أخرى**. بدلاً من ذلك، يمكن أن يعني ذلك أن المصادر كانت أكثر **عدداً في الماضي، في الوقت الذي بدأت فيه الموجات الراديوية في رحلتها إلينا، مقارنة بالحاضر. وكلا التفسيرين يناقضان نظرية الحالة المستقرة**. وعلاوة على ذلك، فإن اكتشاف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني من قبل بنزياس و ويلسون **في عام ١٩٦٥ يدل على أن الكون يجب أن يكون أكثر كثافة في الماضي**. لذلك تم هجر **نظرية الحالة المستقرة.**

محاولة أخرى لتجنب استنتاج أنه يجب أن يكون هناك انفجار عظيم، وبالتالي، بداية للزمن، أدلى بها اثنان من العلماء الروس، إفغيني ليفشيتز واسحاق خالاتنيكوف**، في عام ١٩٦٣.** اقترحا أن الانفجار العظيم قد يكون ميزة خاصة لنماذج فريدمان وحدها، والتي قد تكون بعد كل شيئ مجرد تقريبات للكون الحقيقي. ربما، من بين جميع النماذج التي تصف كوننا الحقيقي، فقط نماذج فريدمان هي التي تحتوي على فردانية الا**نفجار العظيم.** في نماذج فريدمان، تتحرك المجرات كلها مبتعدة عن بعضها البعض بشكل مباشر، وعليه **ليس من المستغرب أنه في وقت ما في الماضي كانوا جميعاً في نفس المكان.** لذلك، في الكون الحقيقي، لا تتحرك المجرات مبتعدة بشكل مباشر عن بعضها البعض فقط، بل لديهما **أيضاً سرعات جانبية صغيرة.** لذلك، في الواقع، لا تحتاج المجرات لأن تكون في نفس المكان بالضبط، فقط تحتاج أن تكون **قريبة جداً من بعضها.** ربما، ومن ثم يكون توسع الكون الحالي غير ناتج من الانفجار العظيم، ولكن من مرحلة الانكماش السابقة؛ إذا انهار الكون، فإن الأجسام التي بداخله لا تصطدم كلها، فمن الممكن أنها تحركت للماضي مبتعدة عن بعضها البعض، الأمر الذي أدى إلى التوسع الحالي للكون. فكيف لنا إذن أن نحكم إذا ما كان الكون الحقيقي قد بدأ بانفجار عظيم؟

ما فعله كل من ليفشيتز وخالاتنيكوف هو دراسة نماذج للكون كانت تقريباً مشابهة لنماذج فريدمان لكن مع الأخذ في الاعتبار الحركات الشاذة والعشوائية للمجرات في الكون الحقيقي. وبينا أن هذه النماذج يمكن أن تبدأ بإنفجار **عظيم، رغم أن المجرات لا تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض بشكل مباشر.** لكنهما ادعا أن هذا لا يزال ممكناً فقط في بعض النماذج الاستثنائية التي تتحرك فيها كل المجرات في الطريق **الصحيح.** وجادلا بعدها أنه طالما أن هناك عدداً لا متناهٍ من النماذج الشبيهة بنماذج فريدمان بدون فردانية انفجار عظيم مقابل نموذج واحد فقط يبدأ بانفجار عظيم، فيجب أن نستنتج أنه من المستبعد جداً أن يكون هناك انفجار عظيم. لكنهما أدركا في وقت لاحق، أنه توجد هناك نماذج كثيرة شبيهة بنماذج فريدمان وتحتوي على فردانيات**، وليس من الضروري في هذه النماذج أن تتحرك المجرات بأي طريقة خاصة.** لذلك سحبا اعتراضهما **عام ١٩٧٠.**

كان لعمل ليفشيتز و خالاتنيكوف قيمة كبيرة لأنه أظهر أن الكون يمكن أن يبدأ بفردانية (الانفجار العظيم) إذا كانت النظرية النسبية العامة صحيحة. ومع ذلك، لم تَحل السؤال الحاسم: هل النظرية النسبية العامة تتنبأ بالضرورة بأن كو**ننا يجب أن يكون له انفجار عظيم** (بداية للزمن)؟ الجواب على ذلك جاء من نهج مختلف تماماً بدأه الفيزيائي البريطاني، روجر بنروز، في عام ١٩٦٥. استخدم طريقة تصرف المخاريط الضوئية [18] في النسبية العامة، وحقيقة أن الجاذبية

هي دائماَ تجذب، ليبين أن النجم الذي ينهار تحت تأثير جاذبيته سيقع **في منطقة تتقلص حدودها في النهاية إلى الصفر**. وهذا يعني أن كل مادة النجم ستنضغط في منطقة حجمها صفر، وبالتالي ستكون كثافة المادة ومقدار تقوس الزمكان لا متناهيين. بكلمات أُخرى، ستتكون فردانية في منطقة ما في الزمكان تُعرف **باسم الثقب الأسود.**

لأول وهلة، لم يكن لنتيجة بنروز أي شيئ يمكن استخدامه للإجابة على سؤال إذا ما كان هناك فردانية انفجار عظيم للكون في الماضي أم لا؟ عندما أنهى بنروز نظريته، كنت طالب أبحاث يبحث بيأس عن مشكلة ما ل**استكمال رسالة الدكتوراه**. أدركت أنه لو قمت بعكس اتجاه الزمن في نظرية بنروز بحيث يصبح الإنهيار توسع، فإن شروط نظريته ستظل قائمةً، بشرط أن يكون الكون تقريباً مشابه لنماذج فريدمان لكن على المدى الواسع في **الوقت الحاضر**. لقد أظهرت نظرية بنروز أن أي نجم ينهار تحت تأثير ثقله يجب أن ينتهي كفردانية؛ وأظهرت حجة عكس اتجاه الزمن أن أي كون متوسع مثل نموذج فريدمان **يجب أن يبدأ بفردانية**. لأسباب تقنية، تتطلب نظرية بنروز أن يكون الكون لا نهائياً **في الفضاء**. لذلك استطعت استخدامها لإثبات أنه يجب أن تكون هناك فردانية بشرط أن يتمدد الكون بسرعة كبيرة لتجنب الإنهيار مرة أُخرى، **لأن نموذج فريدمان كان هو الوحيد اللانهائي في الفضاء**.

خلال السنوات القليلة التي تلت ذلك، طورت تقنيات رياضية لإزالة ذلك وشروط تقنية أُخرى من النظريات التي أثبتت أن الفردانيات **يجب أن تقع**. كانت النتيجة النهائية ورقة مشتركة بيني وبين بنروز عام ١٩٧٠، حيث أثبتنا أنه يجب أن تكون هناك فردانية انفجار عظيم بشرط أن تكون النسبية العامة صحيحة وأن الكون يحتوي على مقدار من المادة كالذي **نلاحظه اليوم**. كان هناك الكثير من الاعتراضات على عملنا، جزئياً من الروس، الذين اتبعوا خط الحزب الذي وضعه ليفشيتز وخالاتنيكوف، وجزئياً من الأفراد الذين شعروا بأن فكرة الفردانيات **برمتها كانت بغيضة ومفسدة لجمال نظرية آينشتاين. ومع ذلك، لا يمكن لأحد أن يجادل في نظرية رياضية. لذلك من المقبول عموماً اليوم أن الكون يجب أن تكون له بداية.**

المحاضرة الثالثة

الثقوب السوداء

مصطلح الثقب الأسود هو مصطلح حديث جداً، وقد تم صياغته عام ١٩٦٩ من قبل العالم الأمريكي جون ويلر كوصف تصويري لفكرة تعود لأكثر من مائتي عام **على الأقل. في ذلك الوقت كانت هناك نظريتين حول الضوء.**واحدة تقول بأن الضوء يتكون من جسيمات، وأخرى تقول بأنه عبارة عن موجات. ونحن نعلم اليوم أن كلتا النظريتين صحيحتان. من خلال الطبيعة الموجية/الجسيمية في ميكانيكا الكم، يمكننا اعتبار أن الضوء يتكون على حد سواء من موجات وجسيمات. في ظل نظرية الموجات، لم يكن من الواضح كيف سيتأثر**الضوء بالجاذبية.** ولكن إذا كان الضوء يتكون من جسيمات، فيمكننا تصور أن الضوء سيتأثر بالجاذبية مثل تأثر قذائف المدفع، الصواريخ، والكواكب.

بناءً على هذا الافتراض، كتب دون كامبريدج، جون ميشيل، ورقة في عام ١٧٨٣ إلى مجلة المعاملات الفلسفية للجمعية الملكية [19] في لندن. أشار فيها أن الجرم الضخم والكثيف بما فيه الكفاية **سيكون له مجال جاذبي قوي بحيث لن يستطيع الضوء أن يهرب منه.** أي ضوء منبعث من سطح الجرم **سيتم سحبه مرة أخرى بواسطة جاذبية النجم قبل أن يهرب للخارج.** على الرغم من أننا غير قادرين على رؤية تلك النجوم لأن ضوئها لن يصل إلينا، إلا أنه بإمكاننا الشعور **بقوة جاذبيتها.** هذه الأجرام **هي ما نسميه اليوم الثقوب السوداء لأنها تشبه حفر سوداء في الفضاء.**

بعد بضع سنوات أتى اقتراح مماثل، وعلى ما يبدو بشكل مستقل عن اقتراح ميشيل، على يد العالم الفرنسي الماركيز دي لابلاس. من المثير للدهشة، أنه أدرج الفكرة في الطبعة الأولى والثانية فقط من كتابه "نظام العالم"، وتركها في الطبعات اللاحقة؛ ربما لأنه قرر أن هذه الفكرة مجنونة. في الواقع، تبدو الفكرة غير متسقة لمعاملة الضوء على أساس أنه يشبه قذائف مدفع كما في نظرية نيوتن في الجاذبية وذلك **لأن سرعة الضوء ثابتة.** لو تم إطلاق قذيفة مدفع إلى الأعلى على سطح الأرض ستتباطأ بسبب قوة جاذبية الأرض وفي النهاية ستتوقف وتعود مرة مرة **أخرى إلى الأرض.** لكن فوتون الضوء **(جسيم الضوء)**، من ناحية **أخرى، يجب أن يستمر في الصعود بسرعة ثابتة.** كيف إذن يمكن أن تؤثر الجاذبية النيوتونية على الضوء؟ إن نظرية متسقة حول تأثير الجاذبية على الضوء لم تأت حتى اقترح آينشتاين النظرية النسبية العامة في عام ١٩١٥؛ ومنذ ذلك الحين، استغرق فهم الآثار المترتبة على النجوم الضخمة وقتاً طويلاً بالفعل.

لفهم كيفية تشكل ثقب أسود، نحتاج أولاً لفهم دورة حياة النجم. يتشكل النجم عندما تبدأ سحابة ضخمة من الغاز، معظمها من الهيدروجين، في الانهيارعلى نفسها بسبب قوة الجاذبية. عندما تنكمش تلك السحابة، تتصادم ذرات الغاز مع بعضها البعض أكثر فأكثر وبسرعة أكبر فأكبر وبالتالي تزداد سخونة الغاز. في نهاية المطاف سيكون الغاز ساخناً جداً بحيث إذا اصطدمت ذرات الهيدروجين مع بعضها فلن ترتد عن بعضها البعض، بل ستندمج مع بعضها لتشكل ذرات الهيليوم. الحرارة التي يتم إطلاقها نتيجة هذا التفاعل، والتي تشبه قنبلة هيدروجينية مُسيطر عليها، هي ما تجعل النجوم مشعة. الحرارة الزائدة ستزيد من ضغط الغاز بشكل كافي حتى يحقق التوازن مع **قوة الجاذبية التي تكمش الغاز إلى الداخل.** يشبه ذلك التوازن الحاصل في بالونة بين ضغط الهواء الداخلي، الذي يحاول جعل البالونة تتمدد، والشد على مطاط البالونة، الذي يحاول جعل البالونة **أصغر.**

مثل تلك النجوم ستبقى مستقرة **لفترة طويلة، بسبب التوازن بين الحرارة المندفعة نتيجة التفاعلات النووية مع قوة الجاذبية.** لكن، رغم ذلك، في نهاية المطاف، سيستهلك **النجم الهيدروجين وبقية وقوده النووي.** ومن المفارقة، أن النجم إذا بدأ بوقود أكثر، سيستهلكه بشكل أسرع. يرجع ذلك إلى أنه كلما زادت ضخامة النجم كلما احتاج إلى الحرارة أكثر لتحقيق التوازن **مع قوة الجاذبية. وكلما كان النجم أسخن، كلما كان أسرع في استهلاك وقوده.** لدى **شمسنا من الوقود ما يكفي، تقريباً، لمدة خمسة آلاف مليون سنة قادمة أخرى، ولكن النجوم الضخمة يمكن أن تستهلك وقودها في أقل من مائة مليون سنة، أي أقل بكثير من عمر الكون.** وعندما ينفذ الوقود من النجم،

سيبدأ بالبرود ومن ثم بالانكماش على نفسه. ما يمكن أن يحدث بعد ذلك لم يفُهم إلا في نهاية عشرينيا**ت القرن الماضي.**

في عام ١٩٢٨ كان هناك طالب دراسات عليا هندي يُدعى سوبرامانيان تشاندراسيخار يُبحر إلى انجلترا للدراسة في كامبريدج مع عالم الفلك البريطاني السير آرثر ادينتغون. كان ادينغتون **خبيراً في النظرية النسبية العامة.** هناك قصة تُروى عن صحفي سأل ادينغتون في أوائل عشرينات القرن العشرين أنه سمع أن هناك ثلاثة أشخاص فقط في العالم يفهمون النظرية النسبية العامة. رد ادينغتون "ومن هو الشخص الثالث يا تُرى**؟!".**

خلال رحلته من الهند، ظل تشاندراسيخار يفكر إلى أي حد يمكن أن تبلغ ضخامة النجم ويظل مع ذلك متوازناً مع **قوة الجاذبية بعد استهلاك وقوده.** كانت الفكرة كالتالي: عندما يصبح النجم صغيراً، تصبح جسيمات مادته قريبة جداً من بعضها البعض. لكن مبدأ باولي في الاستبعاد ينص على أن اثنين من الجسيمات التي تشكل مادة النجم لا يمكن أن يكون لهما بالضبط نفس الموقع **ونفس السرعة.** لذلك يجب أن تكون لجسيمات مادة النجم سرعات مختلفة جداً. وهذا سيجعلها تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض، وبالتالي، ستجعل تلك العملية النجم يتمدد. وبذلك يمكن للنجم أن يحافظ على نفسه في دائرة نصف قطرها ثابت عن طريق التوازن الحاصل بين قوة الجاذبية للداخل والطرد الناتج من مبدأ باولي للاستبعاد، بالضبط مثلما **كان هناك توازن في حياة النجم المبكرة بين قوة الجاذبية للداخل وضغط الحرارة للخارج.**

لذلك أدرك تشاندراسيخار أن هناك حداً للتنافر الذي يمكن أن يوفره مبدأ الاستبعاد. تضع النظرية النسبية حداً لفرق السرعات بين جسيمات مادة الجسم مقارنة بسرعة الضوء. وهذا يعني أنه عندما يصبح النجم كثيفاً بما فيه الكفاية، فإن التنافر الناتج من مبدأ باولي **سيكون أقل من قوة جذب الجاذبية للداخل.** أدرك تشاندراسيخار بالحسابات أن النجم البارد والذي له كتلة أكبر مرة ونصف من كتلة الشمس لن يكون قادراً على الصمود أمام قوة الجاذبية التي ستكمشه للداخل. هذا الحد من الكتلة يسمى حد تشاندراسيخار.

كان لذلك آثار خطيرة حول المصير النهائي للنجوم الضخمة. إذا كانت كتلة النجم أقل من حد تشاندراسيخار، فإنه يستطيع في نهاية المطاف ايقاف قوة الانكماش للداخل الناجمة عن قوة الجاذبية ويستقر إلى حالة نهائية محتملة كقزم أبيض بكرة نصف قطرها بضعة آلاف من الأميال وكثافته تساوي مئات الأطنان لكل بوصة مكعبة. ويتم دعم القزم الأبيض ضد الانهيار الجاذبي من قبل مبدأ الاستبعاد بين **إلكترونات مادته. نحن نلاحظ عدداً كبيراً من نجوم**

القزم الأبيض. أول قزم أبيض تم اكتشافه يدور حول الشعرى اليمانية، ألمع نجم في **سماء الليل.**

أيضاً تم ادراك أن هناك حالة أخرى نهائية مختلفة ومحتملة لنجم له كتلة في حدود واحد إلى اثنين من كتلة الشمس، ولكن أصغر بكثير حتى من القزم الأبيض. هذه النجوم ستكون مدعومة بمبدأ باولي للاستبعاد بين النيوترونات والبروتونات، وليس بين الإ**لكترونات.** لذلك تُسمى النجوم النيوترونية. أنصاف أقطار هذه النجوم تساوي تقريباً عشرة أميال أو نحو ذلك وكثافته تساوي مئات الملايين من الأطنان لكل بوصة **مكعب.** في الوقت الذي تم التنبؤ بها لأول مرة، لم يكن هناك أي طريقة يمكن أن نلاحظ بها النجوم النيوترونية**، ولم يتم اكتشافها إلا في وقت لاحق.**

من ناحية أُخرى، النجوم التي لها كتلة أعلى من حد تشاندراسيخار، سيكون لديها مشكلة كبيرة عندما تستهلك وقودها. في بعض الحالات تنفجر أو تتدارك نفسها بإلقاء ما يكفي من مادتها للخارج للحد من كتلتها، لكن من الصعب أن نعتقد أن هذا ما سيحدث دائماً، بغض النظر عن ضخامة النجم. كيف لها أن تعرف أنها مضطرة لإنقاص وزنها؟ وحتى لو نجح كل نجم في فقدان ما يكفي من الكتلة، ماذا سيحدث لو أضفنا كتلة أكثر إلى القزم الأبيض أو النجم النيوتروني لزيادتها فوق الحد؟ هل ستنهار إلى كثافة لا نهائية؟

كان ادينغتون مصعوقاً من هذه التضمينات ورفض تصديق نتيجة تشاندراسيخار. كان يظن أنه ببساطة لا يمكن أن ينهار نجم إلى نقطة. وكان هذا رأي **معظم العلماء. كتب آينشتاين ورقة بنفسه ادعى فيها أن النجوم لا يمكن أن تتقلص إلى حجم الصفر.** وأدى عداء علماء آخرين، خاصة ادينغتون، ومعلمه السابق، والسلطة التوجيهية لعلماء تركيب النجوم، إلى إقناع تشاندراسيخار لترك العمل على هذه الفكرة، والعمل على مشاكل **أخرى في علم الفلك.** لكن، **رغم ذلك، حصل على جائزة نوبل لعام ١٩٨٣، على الأقل جزئياً، لعمله المبكر على حد الكتلة المسموح للنجوم الباردة.**

بين تشاندراسيخار أن مبدأ الاستبعاد لا يمكنه أن يوقف انهيار نجمٍ له كتلة أعلى من حد تشاندراسيخار. مشكلة ما سيحدث للنجم بعد ذلك، وفقاً للنطرية النسبية العامة، لم تُحَل إلا عام ١٩٣٩ على يد شاب امريكي، يدعى روبرت اوبنهايمر. بينت حساباته أنه لن تكون هناك نتائج يمكن رصدها بتلسكوبات ذاك الوقت. بعد ذلك اندلعت الحرب العالمية الثانية وأصبح اوبنهايمر **نفسه متورطاً بشكل وثيق في مشروع القنبلة الذرية.** وبعد الحرب، تم نسيان مشكلة الانهيار الجاذبي إلى حد كبير لأن معظم العلماء كانوا مهتمين بما يحدث على نطاق الذرة ونواتها. ولكن في ستينات القرن العشرين، تم إحياء الاهتمام بالمشاكل

واسعة النطاق لعلم الفلك وعلم الكونيات من خلال زيادة كبيرة في الرصد الفلكي الناجم عن تطبيق التكنولوجيا الحديثة. تم إعادة النظر في اكتشاف اوبنهايمر وتوسيعه من قبل عدد من العلماء.

الصورة التي لدينا الآن من عمل اوبنهايمر هي كما يلي: المجال الجاذبي للنجم يغير مسارات أشعة الضوء في الزمكان مما كان يمكن أن يكون لو لم يكن النجم موجوداً. إن المخاريط الضوئية، التي تشير إلى المسارات التي تتبعها ومضات الضوء في الزمان **والمكان تنحني قليلاً إلى داخل سطح النجم.** يمكن ملاحظة هذه الظاهرة عن طريق انحناء الضوء القادم من النجوم البعيدة خلال **فترة كسوف الشمس.** كلما انهار النجم للداخل، فإن مجال الجاذبية على سطح النجم يصبح أقوى وستنحني المخاريط الضوئية للداخل أكثر. وهذا سيُصَعب هروب الضوء من سطح النجم، وسيبدو باهتاً ومنزاحاً **ناحية الأحمر بالنسبة لمراقب بعيد عن النجم.**

في نهاية المطاف، عندما يتقلص النجم إلي نصف قطر معين حرج، فإن مجال الجاذبية على سطحه يصبح قوياً إلى درجة تنحني فيها المخاريط الضوئية إلى الداخل ولا يعد الضوء قادراً على الهروب من سطح النجم. وفقاً للنظرية النسبية، لا يمكن لأي شيئ **أن ينتقل بأسرع من سرعة الضوء.** وهكذا، لا يمكن للضوء أو لأي شيئ آخر أن يهرب. كل شيئ سيتم سحبه مرة أخرى **بواسطة المجال الجاذبي.** لذا سيكون لدينا منطقة في الزمكان لا يمكن لأي شيئ أن يصل منها إلى مراقب بعيد. هذه المنطقة هي ما نسميه اليوم الثقب الأسود، وحدوده تسمى **أفق الحدث.**

لفهم **ما يمكن لك أن تراه في حال انهيار نجم ليشكل ثقب أسود، يجب عليك أن تتذكر أنه لا يوجد زمن مطلق في النظرية النسبية. كل مراقب لديه مقياسه الخاص للوقت.** الوقت الجاري عند شخص ما على نجم سيكون مختلفاً عن شخص يقع على بعد مسافة معينة، وذلك بسبب المجال الجاذبي للنجم. وقد تم قياس هذا التأثير بالفعل في تجربة على الأرض تم وضع فيها ساعتين في أعلى وأسفل برج. لنفترض أن هناك رائد فضاء شجاع موجود على سطح نجم منهار ويرسل اشارة ضوئية كل ثانية، وفقاً لساعته، إلى سفينة فضاء تدور حول النجم. في وقت ما على ساعته، لنقل الحادية عشر، سيتقلص النجم تحت نصف القطر الحرج بحيث سيصبح مجال الجاذبية قوياً إلى درجة تمنع وصول الإشارات الضوئية **إلى السفينة الفضائية.**

أصحابه الذين ينظرون من سفينة الفضاء سوف يجدون أن الفترة الزمنية المستغرقة بين الإشارات المرسلة من رائد الفضاء تصبح أطول فأطول كلما اقتربت من الحادية عشر. لذلك سيكون التأثير صغيرا جداً قبل **10:59:59**.

سيتعين عليهم الانتظار أكثر قليلاً من ثانية بين اشارة رائد الفضاء **10:59:58** وبين الاشارة التي أرسلها عندما يقرأ ساعته **10:59:59**، ولكن عليهم أن ينتظروا إلى الأبد الاشارة التي تشير إلى الحادية عشر. الموجات الضوئية المنبعثة من سطح النجم بين **10:59:59** والحادية عشر، من قبل ساعة رائد الفضاء، ستنتشر على فترة لا متناهية من الزمن، كما تُرى من أصحابه في **سفينة الفضاء.**

الفاصل الزمني بين وصول الموجات المتتالية التي نجحت في الإفلات من سطح النجم إلى سفينة الفضاء ستصبح أطول فأطول، وبالتالي سيبدو الضوء القادم من النجم أحمراً فأحمر وأبهتاً **فأبهت.** في نهاية المطاف، سيبدو **النجم قاتماً بحيث لا يعود من الممكن رؤيته من سفينة الفضاء.** كل ما تركه سيكون ثقباً أسوداً في الزمكان. **لكن سيظل النجم يمارس نفس قوة الجاذبية على سفينة الفضاء. ذلك لأن النجم لا يزال مرئياً لسفينة الفضاء، من حيث المبدأ على الأقل.** فقط الضوء القادم من سطح النجم أصبح منزاحاً جداً **ناحية الأحمر بسبب مجال الجاذبية بحيث لا يمكن رؤيته.** ومع ذلك، فإن الانزياح ناحية الأحمر **لا يؤثر على مجال الجاذبية نفسه.** وهكذا، فإن سفينة الفضاء **ستستمر في مدارها حول الثقب الأسود.**

أظهر العمل الذي قام به روجر بنروز وأنا بين عامي ١٩٦٥ و١٩٧٠، أنه وفقاً للنظرية النسبية العامة، يجب أن يكون هناك فردانية بكثافة لانهائية داخل الثقب الأسود. وهذا مشابه للانفجار العظيم في بداية الزمن، إلا أنه سيكون نهاية للزمن بالنسبة للجسم المنهار ورائد الفضاء الذي يقف على سطحه. في الفردانية، قوانين العلم وقدرتنا على التنبؤ بالمستقبل ستنهار تماماً. ومع ذلك، فإن المراقب الذي ظل خارج الثقب الأسود لن يتأثر في القدرة على التنبؤ، لأنه لا ضوء ولا أي اشارة أخرى **يمكن أن تصل من الفردانية.**

هذه الحقيقة الرائعة أدت بروجر بنروز **إلى افتراض ما يسمى "فرضية الرقابة الكونية"، والتي يكمن اعادة صياغتها بهذه العبارة: "الإله يكره الفردانية العارية"**. بكلمات أخرى، الفردانيات الناتجة عن الانهيار الجاذبي تحدث فقط في أماكن مثل الثقوب السوداء، بحيث يتم إخفاؤها بشكل لائق من المراقب الخارجي بواسطة **أفق الحدث.** وهذا ما يُعرف بفرضية الرقابة الكونية الضعيفة، وتعني: حماية المراقبين الذين لا يزالون خارج الثقب الأسود من عواقب انهيار القدرة على التنبؤ التي تحدث في الفردانية. لكنها لا تفعل شيئاً على الإطلاق لرائد الفضاء المسكين الواقع داخل الثقب. ألا ينبغي أن يحمي الله تواضعه أيضاً؟

هناك بعض الحلول لمعادلات النسبية العامة التي تسمح لرائد الفضاء بأن يرى فردانية عارية. قد يكون قادراً على تجنب ضرب الفردانية وبدلاً من ذلك **سيسقط خلال "ثقب دودي"** ويخرج في منطقة أخرى من الكون. وهذا من شأنه أن يوفر إمكانية كبيرة للسفر عبر الزمان والمكان، لكن يبدو أن الحلول قد تكون غير مستقرة إلى حد كبير. إن أقل اضطراب ممكن، مثل وجود رائد الفضاء، قد يغير تلك الثقوب الدودية بحيث لا يستطيع رائد الفضاء أن يرى الفردانية حتى يرتطم بها وتحين نهاية وقته. بعبارة أ**خرى، الفردانية تقع دائماً في مستقبله ولا تقع أبداً في ماضيه.**

إن النسخة القوية من فرضية الرقابة الكونية تنص على أنه في حال وجود حل واقعي، فإن الفردانيات ستقع دائماً إما كلياً في المستقبل، مثل فردانيات الانهيار الجاذبي، أو تقع كلياً في الماضي، مثل الا**نفجار العظيم.** ومن المأمول جداً أن تكون هناك نسخةً من فرضية الرقابة الكونية بحيث قد تعني الفردانيات العارية أن السفر إلى الماضي ممكن. في حين أن كل هذا سيكون على ما يرام لكُتاب الخيال العلمي، فإن ذلك قد يعني أن حياة أي شخص لن تكون أبداً في أمان. فقد يذهب شخص للماضي ويقتل والدك أو والدتك قبل **أن تولد!**

عند انهيارالجاذبية لتشكيل ثقب أسود، ستتأثر تلك العملية بسبب انبعاث موجات الجاذبية [20]. لذلك قد يتوقع المرء أن ذلك لن يدوم طويلاً قبل أن يصل الثقب الأسود إلى حالة مستقرة. كان من المفترض عموماً أن هذه الحالة الثابتة النهائية تعتمد على تفاصيل الجسم المنهار إلى ثقب أسود. قد يكون للثقب الأسود أي شكل أو أي حجم، وشكله قد لا يكون ثابتاً، فبدلاً من ذلك قد **يكون نابضاً.**

في عام ١٩٦٧ حدثت ثورة في دراسة الثقوب السوداء بواسطة ورقة كتبها فيرنر اسرائيل في دبلن (عاصمة جمهورية أيرلندا). أظهر اسرائيل أن أي ثقب أسود لا يدور يجب أن يكون كروياً تماماً. علاوة على ذلك، سيعتمد حجمه على الكتلة. في الواقع، يمكن وصفها بحل معين لمعادلات آينشتاين التي كانت معروفة منذ عام ١٩١٧، عندما وجدها كارل شفارتزتشيلد بعد فترة وجيزة من اكتشاف النسبية العامة. في البداية، تم تفسير نتائج اسرائيل من قبل العديد من الأفراد، بما في ذلك اسرائيل نفسه، كدليل على أن الثقوب السوداء لا تتشكل إلا من انهيار الأجسام المستديرة تماماً أو الكروية. وبما أن جسم حقيقي لن يكون كروياً تماماً، فهذا يعني، أن الانهيار الجاذبي سيؤدي بشكل عام إلى فردانيات **عارية.** ومع ذلك، كان هناك تفسير مختلف لنتيجة اسرائيل، وهو ما دعا إليه روجر بنروز و جون ويلر على وجه الخصوص، وهو أن هذا الثقب الأسود يجب أن يتصرف ككرة ماءٍ. على الرغم من أن الجسم بدأ من

حالة غير كروية، عندما انهار ليشكل ثقباً أسوداً فإنه سيستقر إلى حالة كروية بسبب انبعاث موجات الجاذبية. دعمت حسابات رياضية أخرى هذا الرأي وأصبح معتمداً **بشكل عام.**

لقد تعاملت نتيجة اسرائيل مع حالة الثقوب السوداء التي تكونت من أجسام غير دوارة. على سبيل المقارنة مع كرة الماء، سيكون من المتوقع أن الثقب الأسود المتشكل من انهيار جسم دوار لن يكون مستديراً تماماً. بل سيكون منتفخاً عند خط الاستواء نتيجة تأثير الدوران. نحن نلاحظ انتفاخاً صغيراً مثل هذا في الشمس، ناجماً **عن الدوران مرة واحدة كل خمسة وعشرين يوماً أو نحو ذلك.** في عام ١٩٦٣، وجد النيوزلندي روي كير، مجموعة من حلول الثقب الأسود لمعادلات النسبية العامة أكثر عمومية من حلول شفارتزتشيلد. ثقوب كير الدوارة هذه تدور بمعدل ثابت، شكلها وحجمها يعتمد على **الكتلة ومعدل الدوران.** إذا كان معدل الدوران يساوي صفراً، يصبح الثقب مستديراً تماماً وتصبح الحلول متطابقة تماماً مع حل شفارتزتشيلد [21]. لكن إذا كان هناك معدل دوران معين لا يساوي الصفر، سينتفخ الثقب الأسود نحو الخارج قرب خط الاستواء. لذلك كان من الطبيعي أن نخمن أن الجسم الدوار المنهار ليشكل ثقباً أسوداً سينتهي في نهاية المطاف إلى **حالة توصف بواسطة حل كير.**

في عام ١٩٧٠، أخذ زميل بحث لي، براندون كارتر، الخطوة الأولى نحو إثبات هذا التخمين. أظهر أنه في حال وجود ثقب أسود دوار مستقر له محور تماثل، مثل لعبة الخُذروف [22]**، فإن حجمه وشكله سيعتمد فقط على كتلته ومعدل دورانه.** ثم في عام ١٩٧١، أثبتُ أنا أن أي ثقب أسود دوار ومستقر سيكون في الواقع مثل هذا المحور من التماثل. وأخيراً، في عام ١٩٧٣، استخدم ديفيد روبنسون، من كلية كينغز لندن، نتائج كارتر مع نتائجي لإظهار أن هذا التخمين كان صحيحاً: مثل هذا الثقب الأسود سيُمثل في الواقع **حل كير.**

إذن حتى بعد الا**نهيار الجاذبي يجب على الثقب الأسود أن يستقر إلى حالة نهائية بحيث يستطيع الدوران، بدون تذبذب.** علاوة على ذلك، حجمه وشكله سيعتمد فقط على كتلته ومعدل دورانه، وليس على طبيعة الجسم المنهار الذي شكل فردانية الثقب الأسود. وقد أصبحت هذه النتيجة معروفة بالقول المأثور "**ليس للثقب الأسود شعر". وهذا يعني أن كمية كبيرة جداً من المعلومات عن الجسم الذي انهار يجب أن تضيع عندما يتم تشكيل ثقب أسود، لأنه بعد ذلك كل ما يمكن قياسه حول الجسم هو كتلته ومعدل دورانه. وستظهر أهمية ذلك في المحاضرة القادمة.** نظرية عدم وجود الشعر تلك لها أيضاً أهمية كبيرة عملية لأنها تقلل إلى **حد كبير الأنواع المحتملة للثقوب**

السوداء. وبالتالي يمكن للمرء أن يضع نماذجاً **مفصلة للأجرام التي قد تحتوي على ثقوب سوداء، ومقارنة تنبؤات النماذج مع الملاحظات التجريبية.**

الثقوب السوداء هي واحدة من عدد قليل نسبياً من الحالات الموجودة في تاريخ العلم بحيث تم وضع نظرية لها بتفصيل كبير كنموذج رياضي **قبل أن يكون هناك أي دليل تجريبي عليها يثبت صحتها.** في الواقع، كانت هذه الحجة الرئيسية لمعارضي الثقوب **السوداء.** كيف يمكن للمرء أن يؤمن بوجود مثل هذه الأجرام من دليل واحد قائم على حسابات مستندة على نظرية مشكوك فيها وهي النسبية العامة؟

ولكن، وفي عام ١٩٦٣، وجد مارتن شميدت، وهو عالم فلك في مرصد جبل بالومار في كاليفورنيا، شيئاً خافتاً يشبه النجم، في اتجاه مصدر موجات راديو تسمى **3C273**، وهو المصدر رقم **273** في كتالوج كامبردج الثالث للمصادر الراديوية. فبينما كان يقيس الانزياح الأحمر للجرم، وجد أنه كبير جداً على أن يكون سببه المجال الجاذبي: لو كان المجال الجاذبي هو سبب الانزياح ناحية الأحمر، سيكون الجرم ضخماً جداً وقريباً جداً منا بحيث أنه سيشوش على حركة مدارات الكواكب في النظام الشمسي. وهذا يشير إذاً إلى أن هذا الإنزياح الأحمر سببه تمدد الكون، مما يعني بدوره **أن الجرم يقع على بعد شاسع جداً منا. ولكي يكون مرئياً من مثل هذه المسافة الشاسعة، يجب أن يكون الجرم ساطعاً جداً ويجب أن يطلق كمية كبيرة من الطاقة.**

والآلية الوحيدة التي يمكن التفكير بها حول هذه الظاهرة التي تُنتج طاقة عالية جداً يبدو أنها انهيار جاذبي ليس فقط لنجمة بل لكل المنطقة المركزية للمجرة. وقد تم اكتشاف عدد آخر مما نسميه الآن "أشباه النجوم" أو الكوازارت، وكلها لها إزاحات **حمراء كبيرة.** ولكنها كلها بعيدة جداً عنا وصعبة جداً لمراقبتها إلا أنها توفر **أدلة قاطعة على وجود الثقوب السوداء.**

وظهر المزيد من التشجيع لوجود الثقوب السوداء عام ١٩٦٧ مع اكتشاف طالبة بحث في كامبريدج تدعى جوسلين بيل، لأجرام في السماء تنبعث منها نبضات منتظمة من موجات الراديو. في البداية ظنت جوسلين والمشرف عليها، أنتوني هويش، أنهما قد اتصلا بحضارة غريبة في المجرة. في الواقع، في الندوة التي أعلنوا فيها عن اكتشافهم، أتذكر أنهم سموا المصادر الأربعة الأولى التي يمكن العثور عليها باسم **LGM 1–4** حيث **LGM** تشير إلى الأحرف الأولى للكلمات الموجودة في الجملة **(Little Green Men** الرجل الأخضر الصغير**)**.

لكن في نهاية المطاف، توصلوا هم وآخرون إلى استنتاج أقل رومانسية من هذه الكائنات، والتي أُعطيت اسم النوابض، وهي ليست سوى نجوم نيوترونية

دوارة. كانت **تنبعث منها نبضات موجات الراديو بسبب تعقيد غير مباشرٍ بين حقولها المغناطيسية والمواد المحيطة بها.** كانت هذه أنباء سيئة بالنسبة لكُتاب **قصص رعاة البقر الفضائيين، لكنها شكلت أملاً كبيراً بالنسبة لعدد صغير منا ممن اعتقدوا بالثقوب السوداء في ذلك الوقت.** كان هذا أول دليل قاطع على وجود النجوم النيوترونية. يبلغ نصف قطر النجم النيوتروني حوالي عشرة أميال، أي أكبر بقليل من نصف الق**طر الحرج الذي يصبح فيه النجم ثقباً أسوداً.** إذا كان بإمكان النجم أن ينهار إلى هذا الحجم الصغير، فإنه ليس من المستبعد أو غير المعقول أن نتوقع أن النجوم الأخرى يمكن أن تنهار **إلى حجم أصغر وتصبح ثقوباً سوداء.**

كيف يمكننا أن نأمل في اكتشاف ثقب أسود، إذا كان بالتعريف لا يبعث أي ضوء؟ إن ذلك مشابه للبحث عن قط أسود في قبو فحم. لحسن الحظ، هناك طريقة، فكما أشار جون ميشيل في ورقته الرائدة عام ١٧٨٣، بأن للثقب الأسود جاذبية تؤثر على الأجرام القريبة منه. وقد لاحظ الفلكيون عدداً من الأنظمة بحيث يدور نجمان حول بعضهما البعض، مشدودين ناحية بعضهما **بقوة الجاذبية. كما أنهم لاحظوا أيضاً أنظمة تحوي نجماً مرئياً واحداً يدور حول شريك غير مرئي.**

لا يمكن أن نستنتج مباشرة أن هذا الشريك هو بالتأكيد ثقب أسود. قد يكون نجماً عادياً خافتاً جداً للنظر. ومع ذلك، فإن بعض هذه الأنظمة، مثل تلك التي تسمى نجم الدجاجة اكس ١ **Cygnus X-I** تحتوي على مصادر قوية للأشعة السينية. أفضل تفسير لهذه الظاهرة هو أن الأشعة السينية تولد بواسطة مادة تم تفجيرها على سطح نجم **مرئي.** فكلما سقطت المادة ناحية الشريك الغير مرئي، تنتج حركة حلزونية، مثل حركة تصريف الماء في الحمام، ومن ثم تصبح ساخنة جداً، وبالتالي تطلق أشعة اكس. ولكي تعمل هذه الآلية، يجب أن يكون الشريك الغير مرئي صغيراً جداً، مثل قزم أبيض، أو **نجم نيوتروني، أو ثقب أسود.**

الآن، من الحركة الملحوظة للنجم المرئي، يمكن تحديد أقل كتلة ممكنة للشريك الغير مرئي. في حالة نجم الدجاجة اكس ١، تُقدر الكتلة بحوالي ستة مرات من كتلة الشمس. وفقاً لنتيجة تشاندراسيخار، فإن هذه الكتلة كبيرة جداً على أن تكون قزم أبيض. وأيضاً كبيرة جداً لتكون نجم نيوتروني، إذن يجب أن يكون ثقباً أسوداً.

هناك نماذج أُخرى لشرح ظاهرة كوكبة نجم الدجاجة اكس ١ بحيث لا تشمل ثقباً أسوداً، لكن كلها بعيدة الاحتمال. يبدو أن الثقب الأسود هو التفسير الطبيعي الوحيد لهذه الملاحظات. على الرغم من ذلك، لدي رهان مع كيب

ثورن [23] من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا حول إذا ما كانت كوكبة نجم الدجاجة اكس ١ تحوي ثقباً أسوداً أم لا؟ هذا شكل من أشكال التأمين بالنسبة لي، لقد عملت كثيراً في موضوع الثقوب السوداء، وسوف يضيع كل ذلك إذا اتضح أن الثقوب السوداء غير موجودة. ولكن في هذه الحالة، أود أن أحصل على مجلة العين الخاصة [24] كعزاء لي لخسارة الرهان. أما إذا كانت الثقوب السوداء موجودة، سيحصل كيب على مجلة بنتهاوس [25] لمدة سنة، لأنه عندما بدأنا الرهان عام ١٩٧٥، كنا متأكدين بنسبة ٨٠ بالمئة أن كوكبة الدجاجة تحوي ثقباً أسوداً. الآن، أود أن أقول إننا متأكدين بنسبة ٩٥ بالمئة، لكن لم يتم حسم الرهان بعد [26].

هناك أدلة على وجود الثقوب السوداء في عدد من الأنظمة الأُخرى في مجرتنا، وهناك ثقوب سوداء أكبر بكثير تقع في مراكز المجرات والكوازارت الأُخرى. يمكن للمرء أن ينظر أيضاً في إمكانية وجود ثقوب سوداء بكتل أقل من كتلة الشمس. هذه الثقوب السوداء لن تتشكل بواسطة الإنهيار الجاذبي لأن كتلها أقل من حد كتلة تشاندراسيخار. نجوم تملك مثل هذه الكتلة المنخفضة يمكن أن تدعم نفسها ضد الإنهيار الجاذبي حتى عندما تستهلك وقودها النووي. لذلك، فإن الثقوب السوداء منخفضة الكتلة يمكن أن تتشكل فقط إذا تم ضغط مادتها إلى كثافات هائلة من ضغوط خارجية هائلة جداً. مثل هذه الظروف يمكن أن تحدث في قنبلة هيدروجينية كبيرة جداً. حَسَبَ الفيزيائي جون ويلر ذات مرة أنه لو أخذ أحدهم كل المياه الثقيلة في جميع محيطات العالم، فيمكنه أن يبني قنبلة هيدروجينية من شأنها أن تضغط المادة في المركز إلى درجة أنه سيتم إنشاء ثقب أسود. لكن لسوء الحظ، لن يكون هناك أي أحد على قيد الحياة ليشهد **ذلك**.

وهناك احتمال عملي أكبر أن تكون هذه الثقوب السوداء منخفضة الكتلة قد تكونت في درجات حرارة وضغوط عالية جداً في الكون المبكر جداً. قد تكون هذه الثقوب السوداء تكونت بالفعل إذا لم يكن الكون المبكر أملساً وموحداً، لأنه في هذه الحالة لو كانت هناك منطقة صغيرة أكثر كثافة من المتوسط فيمكن ضغطها بهذه الطريقة لتشكيل ثقب أسود. ونعلم أنه يجب أن تكون هناك مناطق شاذة، لأنه بخلاف ذلك فإن المادة في الكون ستظل موزعة بشكل موحد كلياً حتى في الوقت الحاضر، بدلاً من أن تتجمع في النجوم والمجرات لتشكل الشكل الحالي للكون.

وسواء أكانت أو لم تكن تلك الشذوذات المطلوبة لتشكل النجوم والمجرات قد أدت إلى تشكيل عدد كبير من الثقوب السوداء البدائية، فإن ذلك سيعتمد على تفاصيل ظروف **الكون المبكر**. لذلك إذا استطعنا تحديد عدد الثقوب

السوداء البدائية الآن، فإننا سنتعلم الكثير عن المراحل المبكرة جداً من الكون. لا يمكن الكشف عن الثقوب السوداء التي لها كتلة أكثر من مليون طن (كتلة جبل كبير) إلا من خلال تأثيرها الجاذبي على المادة المرئية الأخرى أو على توسع الكون. ومع كل ذلك، سنتعلم في المحاضرة القادمة أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً بعد كل شيئ: **إنها تتوهج مثل الجسم الساخن، كلما كانت أصغر، كلما توهجت أكثر.** لذا، ومن المفارقات، أن الثقوب السوداء الصغيرة قد تكون في الواقع أسهل للكشف عنها من **الكبيرة!**

المحاضرة الرابعة

الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً

أم لا

داخل ثقب أسود والتي تقع في الخارج

من قبل حول فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التي لا يمكن أن تهرب إلى مسافات كبيرة وهذا هو التعريف المقبول حالياً عموماً فق الحدث، يتكون من أشعة الضوء التي تفشل في الهروب عن الثقب الأسود فهي تبقى إلى الأبد، تحوم حول حافة الثقب الأسود بقاء المسافة بينك وبينه خطوة واحدة دائماً

الاثنين، أو في حالتنا هنا، تقع في الثقب الأسود

أو بعيداً

عن بعضها البعض

فق الحدث(حدود الثقب الأسود) تشبه حافة

الظل

تقترب من

بعضها البعض فق الحدث (حدود الثقب الأسود)

الثقب الأسود

فق الحدث قيوداً هامة على السلوك المحتمل للثقوب السوداء هذا لدرجة أنني لم أحصل على القدر الكافي من النوم في تلك الليلة

فق الحدث

سيكون هو نفسه، بشرط أن يستقر الثقب الأسود إلى حالة ثابتة

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

صلاحات وسترى ذلك يمكن للمرء أن يخلق النظام من الفوضى، على سبيل المثال، يمكن صبغ المنزل لكن ذلك يتطلب استهلاك طاقة، وبالتالي يقلل من كمية الطاقة المتاحة

لأي نظام معزول لا يمكن أن تنقص أبداً مع مرور الوقت

على سبيل المثال، تخيل وجود صندوق فيه جزيئات غاز يمكننا اعتبار أن جزيئات الغاز تشبه كرات

بلياردو صغيرة بحيث تصطدم باستمرار مع بعضها البعض وبجدران الصندوق
في النصف الأيسر من الصندوق
بواسطة حاجز
شغال
كلا جانبي الصندوق

مع
النيتروجين بشكل موحد ومتناسق تماماً في جميع أنحاء الصندوقين
أكثر من الحالة البدائية للصندوقين
المنفصلين

ن أن يحدث ذلك

يجب أن تزداد كلما سقطت مادة داخل الثقب الأسود

فق ... الحدث

... بمعدل معين ...

... الخاصة به ...

... فق الحدث، إلا أن هذه الصعوبة تبدو قاتلة ...

... ن كان بالتأكيد بطريقة غير متوقعة ...

اشعاع الثقب الأسود

... ة ...

أن تخلق وتبعث جسيمات بمعدل ثابت

من جسم ساخن إن الثقب الأسود يبعث جسيمات بالمعدل الصحيح تماماً وذلك لمنع انتهاك القانون الثاني

الكمية الأخرى بنفس دقة معرفتنا للكمية الأولى

[27] [28]

مباشر عن طريق كاشف الجسيمات

دقة ملحوظة

من مبدأ حفظ الطاقة، واحد من زوجي الجسيمين الافتراضيين سيمتلك طاقة موجبة والزوج الآخر سيمتلك طاقة سالبة الذي له طاقة سالبة مقدر له أن

تكون له حياة قصيرة وذلك لأن الجسيمات الحقيقية لديها دائماً طاقة موجبة في الحالات العادية لذلك يجب أن تسعى إلى شريكها وتُفنى معه ومع ذلك، فإن مجال الجاذبية داخل الثقب الأسود قوي إلى درجة أنه حتى الجسيمات الحقيقية يمكن أن يكون لها طاقة سالبة هناك

يم حقيقي

قبل

أن تصبح جسيمات حقيقية

[29]

الثقب

$E = mc^2$

الأسود

سيقلل من كتلته

[30]

انفجارات الثقوب السوداء

درجة حرارته لذلك،

كلما فقد الثقب الأسود كتلة، كلما ازدادت درجة حرارته ومعدل انبعاث أشعته وبالتالي سيفقد الكتلة بشكل أسرع ما يحدث عندما تصبح كتلة الثقب الأسود، في نهاية المطاف، بالغة الصغر جداً غير واضح تماماً أكثر تخمين معقول أنها ستختفي تماماً في انفجار نهائي هائل سيبعث بأشعة كبيرة جداً، تعادل انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية

[31]

تمتص أكثر مما تعطي

10^{66} [32]

10^{10} سنة

عمر يساوي تقريباً عمر الكون

مثل هذه الثقوب

بالكاد تستحق لقب أسود

آلاف مليون واط

منه،

سيكون في مدار حول الأرض

أن

هذا الاقتراح غير عملي تماماً، على الأقل ليس في المستقبل القريب

البحث عن الثقوب السوداء البدائية

خلفية من أشعة غاما مع ذلك، قد تكون هذه الخلفية ناشئة من عمليات أخرى غير الثقوب السوداء البدائية

بدائي في كل

سنة ضوئية مكعبة في الكون

في

الكون

[33]

شعاعي ثابت من الثقب الأسود حتى لو كان بمعدل عشرة آلاف مليون واط

سبوع مثلاً

[34]

ها حتى الآن وعلاوة على

ذلك، يجب أن يكون الكاشف في الفضاء، لأن أشعة غاما لا يمكن لها أن تخترق الغلاف الجوي

حياته خلال السنوات القليلة القادمة ضئيلة نوعاً ما وقد يكون الأمر كذلك لبضعة ملايين من السنين في الماضي أو المستقبل

سنة ضوئية واحدة

نفجار

انفجارات أشعة غاما من خلال البحث عن ومضات من الضوء في سماء الليل

جدوا عدد من الومضات لكن لا يمكن أن يُعزى ذلك قطعاً إلى انفجارات أشعة غاما من الثقوب السوداء البدائية

[35]

النسبية العامة وميكانيكا الكم

في لندن

كل هذا هراء حتى أنه كتب ورقة في هذا الصدد

أنه إذا فعلنا ذلك، فإنه يجب أن تنبعث منها الكثير من أشعة غاما
وأشعة اكس إذا وجدنا واحداً منها، فسأحصل على جائزة نوبل

عادتها إلى الكون على شكل إشعاع وهكذا، بمعنى ما، سيتم اعادة
تدوير رائد الفضاء

مختلفة بشكل عام عن تلك الجسيمات التي تشكل
جسم رائد الفضاء الخاصية الوحيدة التي ستبقى لرائد الفضاء ستكون كتلته
أو طاقته

عندما تصبح كتلها
صغيرة جداً أن النتيجة النهائية الأكثر احتمالاً هي اختفاء الثقب الأسود
فقط، على الأقل من منطقتنا في الكون
فردانية توجد داخل الثقب
التي تنبأت بها النظرية النسبية العامة الكلاسيكية

تحدث أم لا في الجاذبية الكمية

[36]

التي تقترحها هذه الفكرة لكم تسمح
للكون بأن يبدأ بطريقة ليست بالضرورة أن تكون فردانية وهذا يعني أنه ليس
من الضروري أن تنهار قوانين الفيزياء عند بداية الكون
يحدده مبدأ
عدم اليقين لذلك هناك مساحة لحرية الإرادة

أصل ومصير الكون

يدها في العلم، معلنة أن الشمس هي من تدور حول الأرض والآن، وبعد قرون، قررت الكنيسة أنه من الأفضل استدعاء عدد من الخبراء لتقديم المشورة بشأن علم الكونيات

نفجار العظيم

نفسه لأن تلك كانت لحظة الخلق، وبالتالي عمل الخالق

لقد كنت محظوظاً لأن البابا لم يفهم الموضوع الذي تكلمت فيه في المؤتمر

وفاته

نموذج الانفجار العظيم الساخن

نفجار

العظيم

على المادة التي

يحتويها

عندما يبرد فإنه من المتوقع أن تنجذب [37] الجسيمات ناحية بعضها البعض

نفجار العظيم انخفضت درجة الحرارة إلى حوالي عشرة آلاف مليون درجة هذه الحرارة تساوي عشرة أضعاف الحرارة الموجودة في مركز الشمس

قنابل هيدروجينية

، جنباً إلى جنب مع بعض
البروتونات والنيوترونات

التصادمات سيقل عن المعدل الذي سيتم
تدميرهما به

ونيوترون
واحد
الهيليوم، التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين
وهناك توجد هناك كميات صغيرة من العناصر الأثقل، الليثيوم والبريليوم

إلى نوى الهيليوم، جنباً إلى جنب مع
كمية قليلة من الهيدروجين الثقيل وغيرها من العناصر أما النيوترونات المتبقية فكانت تتحلل إلى بروتونات، وهي نوى ذرات الهيدروجين العادية
تتفق التنبؤات بشكل جيد جداً مع ما تم رصده تجريبياً

بسبب تمدد
الكون
مع ويلسون عام ١٩٦٥
نفجار العظيم

الذرات

دوارة

الهيدروجين إلى
هيليوم وتشع طاقة على شكل حرارة وضوء

بتحويل الهيليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون أو الأكسجين
ومع ذلك، فإن هذا لن يطلق المزيد من الطاقة، لذلك سوف تحدث أزمة، كما
وصفت ذلك في محاضرتي عن الثقوب السوداء

نهاية حياة النجم، سيتم قذفها
على شكل غاز في المجرة وهذه ستوفر مادة خام لصنع الجيل القادم من
النجوم

كمية صغيرة من العناصر الثقيلة تجمعت مع بعضها لتشكل تلك الأجسام التي تدور الآن حول الشمس على شكل كواكب مثل الأرض

أسئلة مفتوحة

أكبر بنفس المقدار

السابق، لكان الكون قد توسع بشكل مفرط كثيراً إلى درجة أنه لن تتكون المادة كما نراها اليوم خالياً تماماً

ستنهار

نفجار العظيم

بالشكل الذي نلاحظه اليوم

فإن هذه المناطق لن تحتوي على كائنات
لمراقبة أنها مختلفة

تظهر فيها الحياة

الكوني له نفس
درجة الحرارة في أي اتجاه ننظر أيضاً، كان يجب أن يتم اختيار معدل التوسع
الأولي للكون بدقة شديدة حتى لا ينهار الكون على نفسه
الزمن
كان يهدف إلى خلق كائنات مثلنا

نموذج التضخم

مرة

فقط في جزء صغير من الثانية بالطبع، كان ذلك قبل الحكومة الحالية

عند درجات الحرارة العالية جداً عندما يتوسع الكون، فإنه سيبرد، وستنخفض بالتالي طاقة الجسيمات، وسينكسر التناظر بين قوى الكون[38] المختلفة

الكهرومغناطيسية هو تجمد الماء عند تبريده

الماء

ة"

S'u pceoro l i n

دون تكون ثلج وتحوله إلى الحالة " الصلبة

ر التناظر بين القوى المختلفة إذا حدث ذلك، فإن الكون سيكون في حالة غير مستقرة، مع امتلاكه لطاقة أكبر مما لو كان التماثل قد تم كسره

ستعمل a n t i g r a vei ft faet ci to n a بالضبط مثل الثابت الكوني

بواسطة تنافر الثابت الكوني الفعال وبالتالي، فإن هذه المناطق ستتمدد أيضاً بطريقة تضخمية متسارعة

بالكاد يحتوي على أي جسيمات

عند نفخها بقوة كبيرة جداً

لتجنب الانهيار الجاذبي

10^{80}

بعيدين عن بعضهما البعض

السبب ببساطة هو أنك بحاجة إلى بذل طاقة لتفصل القطعتين عن بعضهما

الجاذبية له طاقة سالبة

الموجبة للمادة

مبدأ حفظ الطاقة هذا لا يحدث في التمدد الطبيعي للكون الذي تنخفض فيه كثافة الطاقة والمادة كلما أصبح الكون أكبر ولكن، يحدث ذلك في حال التمدد التضخمي، وذلك لأن كثافة الطاقة لحالة التبريد الفائق تبقى ثابتة في حين أن الكون يتمدد

طاقة المتوفرة لصنع جسيمات

تصبح كبيرة جداً لكن

الكون هو أكبر وجبة غداء مجانيّة.

نهاية التضخم

في

النهاية

الكون

لها نفس درجة الحرارة

وبالتالي سيترك ذلك الكون
في حالة غير متسقة جداً، مع وجود بعض المناطق التي لها تناظر بين مختلف
القوى مثل هذا النموذج لن يتوافق مع ما نراه

جداً في هذه الحالة، يمكن احتواء منطقتنا من الكون داخل
فقاعة واحدة

[39]

الذي حدث في الكون المبكر

للتقلبات الحرارية لإشعاع الخلفية

إلى الكون الذي نلاحظه اليوم

ذلك ضرب من اليأس، وتقويض

لآمالنا في فهم النظام الأساسي للكون

الجاذبية الكمومية

كون شكل هذه القوانين

في نظرية الكم

ى جمع التواريخ

يمثل حجم الموجة والآخر طورها

من الزمن الحقيقي

موجبة

في خيالنا

تمييزه عن اتجاهات اقليدية

المكان

ضافة جميع التواريخ في الزمن التخيلي التي لديها تلك الخاصية ويمكن بعدها
أن نعمل على ما يمكن أن يكون التاريخ المحتمل للكون في الزمن الحقيقي

حالة اللاحدود

حدود أو حواف سيكون الزمكان مثل سطح الأرض،
فقط مع بعدين اثنين أكثر

في جميع أنحاء العالم

احتمال أن
الزمان والمكان معاً يشكلون سطحاً محدوداً في الحجم لكن دون أن يكون له
أي حد أو حافة

لوضع تنبؤات حول الكون

، عمل معي حول الشروط التي يجب أن يمتلكها الكون
ليصبح بلا حدود

خرى إلى نقطة واحدة عند القطب الجنوبي وعلى الرغم من أن الكون سيكون له حجم صفري في القطبين الشمالي والجنوبي، إلا أن فردانية هذه النقاط لن تكون أكثر فردانية من فردانية القطبين الشمالي والجنوبي على الأرض إن قوانين العلم ستصمد عند بداية الكون، تماماً كما تصمد في القطبين الشمالي والجنوبي للأرض

ها لتساعدنا في

وصف ما نظن أنه يمثل الكون ولكن وفقاً للمقاربة التي شرحتها في المحاضرة الأولى، النظرية العلمية هي فقط نموذج رياضي صنعناه لنصف الملاحظات التجريبية هو موجود فقط في أذهاننا لذلك ليس له أي معنى أن نسأل من هو الحقيقي؛ الزمن الحقيقي أم التخيلي؟ المهم هو أي نموذج يقدم وصفاً أكثر فائدة

التوزيع المتسق للكثافة في الكون المبكر

كلياً بدلاً من ذلك، كان يجب أن يكون هناك بعض اللايقين أو التقلبات في مواقع وسرعات الجسيمات ، نجد أن الكون كان يجب أن يبدأ بالحد الأدنى من عدم التناسق الذي يسمح به مبدأ عدم اليقين

للكون ومبدأ

عدم اليقين لميكانيكا الكم

لا يبدوا أنه يتدخل في الكون لكسر هذه

القوانين

لن يكون بالإمكان خلقه أو تدميره،

سيكون ببساطة موجوداً

اتجاه الزمن

The Go Between

تناظر CPT

CPT [40]

ومصنوعين من مادة

مضادة

من المادة المضادة ستختفي أنت وهو في

ومضة هائلة من الضوء

العادية

على الطاولة يمكنك أن تقول بأن الفيديو يجري إلى الخلف لأن هذا النوع من السلوك لم يلاحظ أبداً في الحياة العادية فلو كان الأمر كذلك، لترك مصنعي الأواني الفخارية عملهم

أسهم الزمن

تزداد مع مرور الوقت بعبارة أُخرى، هو قانون مورفي الذي يقول بأن الأمور تنتقل من سيئ إلى أسوء كوب سليم على الطاولة هو حالة عالية من الترتيب، لكن كسره على الأرض هو حالة من الفوضى أو عدم الترتيب

لمكسور على الأرض في المستقبل، ولكن ليس العكس

المرتبط بتمدد الكون بدلاً من تقلصه

تجاه

السهم الديناميكي الحراري

تكون فيها القطع غير مرتبة ولا تصنع صورة

فإن الفوضى تميل إلى الزيادة مع مرور الوقت إذا كان النظام قد بدأ بحالة من الترتيب العالي

حتمالات الغير المرتبة

شكل أي صورة ذات معنى

وهكذا، فإن فوضى القطع تزداد مع الوقت إذا بدأت تلك القطع بحالة عالية من النظام

الطاولة

يعيشون في كون تقل فيه الفوضى مع مرور الوقت

ن المستقبل وليس الماضي

السهم النفسي

قتالاً في البورصة عن طريق كمبيوتر يتذكر أسعار الغد

جهاز يمكن أن يكون في واحدة

من حالتين

كد من أن الذاكرة في الحالة

الصحيحة، فمن الضروري استخدام كمية معينة من الطاقة

على شكل حرارة تزيد من كمية الفوضى في الكون ويمكن أن نبين أن هذه

الزيادة في الفوضى أكبر من الزيادة في ترتيب الذاكرة

في الذاكرة، فإن الكمية الكلية للفوضى في الكون ترتفع

تجاه الذي تزداد فيه الفوضى لا يمكنك الحصول على

رهان أكثر أماناً من ذلك

الشروط الحدية للكون

نحاول أن نفهم أو نسأله عن أسبابه، لأن بداية الكون من عمل الله
ولكن تاريخ الكون كله يمكن أن يُقال عنه بأنه عمل الله

بأنه يمكننا اكتشافها وفهمها

الكون؟ في النظرية النسبية العامة الكلاسيكية، يجب أن
تكون بداية الكون في فردانية ذات كثافة لا نهائية في انحناء الزمكان في ظل
هذه الظروف، ستنهار كل القوانين المعروفة في الفيزياء وبالتالي، لا يمكن
استخدام تلك القوانين للتنبؤ بكيفية بدء الكون

جداً

الزمن الكوني ولن يتفق أي من هذين الاحتمالين مع ما نلاحظه

نوهت من قبل أن النظرية النسبية العامة الكلاسيكية تتنبأ بأن الكون يجب أن
يبدأ بفردانية حيث انحناء الزمكان لا نهائي

للكون

لذا لابد من استخدام نظرية الجاذبية الكمية لفهم كيف بدأ الكون

، وهذا سيحدد إذا ما كانت الموجة في القمة أو في القاع

الكون

مع الزمن
التواريخ المحتملة
للكون على حدود الزمكان في الماضي

نقطة سلسلة منتظمة من الزمكان

ينتهك

مبدأ عدم اليقين في نظرية الكم كان يجب أن يكون هناك تقلبات صغيرة في كثافة وسرعة الجسيمات سيعني ضمناً أن هذه التقلبات صغيرة جداً بقدر ما يمكن لها أن تكون، بحيث تتماشى مع مبدأ عدم اليقين

لقد بدأ الكون بمرحلة من التوسع الأُسي أو التضخمي في هذه المرحلة، زاد من حجمه بمعامل ضخم جداً خلال هذا التوسع، كان من الممكن أن تظل تقلبات الكثافة صغيرة في البداية، لكن لاحقاً بدأت تزداد

نجوم، وكائنات مثلنا

وغير مرتب مع مرور الزمن وهذا من شأنه أن يفسر وجود السهم الديناميكي الحراري للزمن

تجاه المعاكس، بحيث ينكمش الكون

هل ينعكس سهم الزمن؟

فق حدث الثقب الأسود

نكماش

نكماش

نكماش أو

داخل الثقوب السوداء

دخله عندما كان يحاول صنع نموذج ساكن للكون، بأنه أكبر خطأ في حياته

K I

I

"K " I ŋ

نظرية كل شيء

سم " توحيد

الفيزياء .

قضى آينشتاين معظم سنوات حياته الأخيرة في البحث عن نظرية موحدة لكن دون جدوى، لكن في زمنه لم يكن الوقت قد حان بعد فلم يكن يُعرف عن القوى النووية سوى القليل

بالفعل أن مبدأ عدم اليقين هو سمة أساسية من سمات الكون الذي نعيش فيه لذلك فإن أي نظرية موحدة يجب أن تتضمن بالضرورة هذا المبدأ

ومبدأ عدم اليقين وضع

حداً لذلك [41]

البروتون، الذي كان الجسيم
المعروف الآخر في ذاك الوقت، وبالتالي ستكون نهاية الفيزياء النظرية لكن،
أتى اكتشاف النيوترون والقوى النووية الأخرى كضربة قوية على الرأس

النظرية الجزئية للجاذبية، والنظريات
الجزئية التي تحكم القوى الضعيفة، القوية، والكهرومغناطيسية ويمكن جمع
القوى الثلاثة الأخيرة فيما يعرف باسم " النظريات الموحدة الكُبرى".
يجاد نظرية
توحد الجاذبية مع القوى الأُخرى هو أن النسبية العامة نظرية كلاسيكية أي أنها
لا تتضمن مبدأ عدم اليقين في ميكانيكا الكم ومن ناحية أُخرى، تعتمد
النظريات الجزئية الأُخرى على ميكانيكا الكم بشكل رئيسي لذلك فإن
الخطوة الرئيسية الأولى هي الجمع بين النسبية العامة ومبدأ عدم اليقين

تكون سوداء تماماً، والكون المحتوي على نفسه تماماً
دون أي حدود
هذه الأزواج سيكون لها طاقة لا نهائية
وهذا يعني أن قوة الجاذبية بين تلك الجسيمات ستلوي الكون إلى حجم لا
متناهي الصغر

Renormalization

عملية وقد تم استخدام هذه التقنية لجعل التنبؤات تتفق
مع الملاحظات التجريبية بدرجة غير عادية من الدقة

من الناحية الرياضية بدلاً من ذلك، يجب أن يتم اختيارها لتتوافق مع
القيم التجريبية في حال النسبية العامة، لا توجد إلا كميتان يمكن تعديلهما
قوة الجاذبية ومقدار الثابت الكوني

عام ١٩٧٦ "Supergravity"
بعض الجسيمات الإضافية

0 2/1 2/3

2/3 2/1

2 1 0

String Theory

World

World Sheet

[illegible]

[illegible] 10^{39} [illegible]

[illegible] 10^{-33} [illegible]

[illegible]

л ŋ ŋ K k k I P G E ŋ .
k I I ʊ k Ⱥ g I . ŋ R I ᵔ I
ʊ I KI I ÆI g I I
k E ɔ E I I Ik G ŋ g I
ɿ ᵔ ᵔ ɛ ŋ Ƀ I Ƀ I E
Ƀ k EI g I K I o u IL I I л
R Ƀ I ɿ ᵔ ɿ I k E
ŋ ɔ Ƀ I k E I :
G k E L ŋ ŋ I E I P LG ŋ
I P л G . L I ŋ R g I л
K g I л I I ɿ R
. I

o I P B K ʊ I P G ʊ I I k P IG P
G ʊ Ik E И I I B I ŋ T ŋ ʊ E o
k k k k IR ŋ I I ɿ K
ʊ E o . P ER ʊ ɿG I . ŋ
: . k k I I ŋ T ŋ
L G I P G л K ŋ л J L G I I
Æ k . ŋ E L I ŋ o I K
л ʊ E ɜ л U I I
. ŋ E I

ɿ R E л K R m I I I
I K k ʊ I Ƀ
k k E I P Æ o E ɜ ᵔ E ŋ k
ɐ u B K L I л л ŋ ʊ
I P ɿ ʊ Ik E л k I
o u Iʊ I л I ŋ T ŋ ʊ
!B !

I k E ŋ . E I I L I o I
. K L R И k ʊ I
k E I ʊ ɐ R E k ʊ I Ia I Æ g
ʊ ŧ E P . I ŋ T ŋ I I
k EI ŋ л k E ᵔ
л m g R ŋ ɜ k л I I I

k E I л . ŋ E ȣG PI
k . I ɛ K Rʊŋ ʊEз k k E o
K . ʊ E ʊ E g ŋ ᵔ з E
.ʊ E ŋ E g I b E ɔ E P
k gI л ɐ R I л I L I R II k E
J II I P л R I I J I ɔ E ŋK
ŋ ɔ k E ɐGR I л o u I I I R
.ɛ ŋ E G .ŋ I ŋ E I
kI E I P з I л
.ʔ ʊ ᵔ E R ŋ E k E .o u I K
.ɐŋ R I K Ɓ K R ŋI I з kI л
g з L ŋ I I K k I л U I
. P K ɓ I I ə K R IK I
ŋ Eᵔ K R IJ k E LG ŋ k л I
. L II R I л ŋK I I ŋ
G I k E л I л K k Eл I I I ŋ E
I ŋ T ŋ ʊ Eз k k I
k E E I .ŋ ʔ
k E R ŋ I k Eɑ л E I
k E I ŋ I .k ŋ IK ʊ I k
ŋ Eл k I o uE з k . I R ŋ E
л ʊ I k (P) o uE k I
з k ᵔ. k ʊ E з E ŋ
. ʊ I I ʊ I I I m I L P

ȣ g I T л k ʊ I ʊ I I
E k E k E R I ŋ I o u I
I P k G I ə .Ɓ K I
R ŋ K L I I ŋ Eл I u L
k E I л P ŋ L I I b I
g л ŋ L I I I o I m IL ɶ
R ŋ I I P ə G k I I
.Ɓ K ᵔ

Bᵔ I ʊ R ! ƁEƁ K з k k E
:L зI k Eŋ

[42] 10^{19}

k k E ʊ E ŋ E LG I k Eŋ л I ʅ ŋ
з k k E . E I
k л L I л g I kŋ
k E E л I k ŋ GL I ʅ
b Ƀ K m I ŋ[43] I I I
I k E I ŋ ! I I EL
. ɔ ʊ I O I I

k E I Ik Iʅ K I I k лI P
k I I RB K з k E L E I M
K G ʊ ə ɛ I L I
. P E IʊPg G I ^ . k I I

k k E P B k I I P
M P kŋ I R I
k T k I I I ɔ ʊ I I K R
л I k k E
K I Rŋ л PI . ŋ I
L K I I R I L I ŋ ʅ E
L I ŋ E ŋK
k E лŋ k k E k . k ʊ U
. L I I Ƀ

ʅ ! g I k л P K ŋ
ʊ ŋ I k U I ʊ . ŋ E R
I л ŋ ŋ I ŋ I
! I ŋo E K U I o ŋK
. T I

R ʊ з k E k k лʊ I
ə U I з л I I ŋ I I
I R ʊ I U I л I ŋ L I
ʊ k л K ə I P G K I
R P . ŋ I ŋ k E
^ . ŋ I I л U R I
. ʊ ŋ ŋ k I ŋ I I I

Ƀ R I ꞉ K L I P g
ɛ I Л ʊ ŋ K I I PBGk
k I R I g I T Л . ɑŋ ŋ I R I
k I R ɛ I ɜ kI E I k Л P
K I Ш I ʊ ŋ K I ŋ ɜ k
. L P ʊ I ŋ

K I ŋ ɜ k I I g k E
ʊ I I P L ʊ ŋI K
ʊ k IGBI k Iŋ K R ʊ L ʊ
k ɜ k k E I P g I I N R Ƀ
K I B mI ʊ Ƀ ŋ k ŋ I I P B N P
k I P G ŋ NG ! EE a I ʊ ŋ EʊR G
B ŋ Л k I ɔ E I I Л
B

K L Ƀ k Л k I
ɔ E Л I P g I И ŋB I k Л o E k
k I L I ! I I R ʊ Л
Л IP Л I k E I Л I
I Л I P Bŋ kI : I E . ŋ
ŋ E R ŋ I Л E
I ŋ I ʊ Ƀ Л D ɔ
ə ŋI g Л G I R ɛ
K I k G ! k I I K
. G R E I R I . "

Л ∃ k k E Л I P Л G I P
R ʊ k Ƀ I ʊ
k Л J I I I PBŋGk I I P g I R
. I ɔ . I R I

كلمة أخيرة (المترجم)

[illegible] نى رياضية لملامح نظرية نهائية، إلا أن ما وجدوه لا يمكن وصفه حالياً بأنه أكثر من مجرد ترف جمالي رياضي

[illegible] النظرية إلى الطريق الصحيح [illegible] "Supersymmetry". [illegible] عن هذا المجال

[illegible] نهائية في الفيزياء، لكن ليس الآن، ربما في كتاب آخر، أما كتابنا هذا فقد انتهى

* * * * *

إصدارات مركز العلوم الطبيعية


النظرية النسبية الخاصة
والرجال الذين صنعوها
يوسف البناي
مركز العلوم الطبيعية


الأغلفة الأربعة
جاسم البناي




بداية
اللا نهاية


ألفريد فيجنر
أصل القارات والمحيطات
الترجمة العربية الأولى لأكبر نظريات علوم الأرض
ترجمة وتحرير
أحمد الزبيدي
جاسم البناي
مركز العلوم الطبيعية


كورونا والأوبئة
بين العلم والخرافة
البروفيسور وليد منصور عامر


الدقيقة الثالثة للخلق
3:00


يوسف البناي
البنية الواسعة للزمان والمكان
مقدمة إلى النظرية النسبية العامة


جول فيرن
من الأرض إلى القمر
ترجمها من الفرنسية:
د. باسم صابر ميخائيل
مركز العلوم الطبيعية

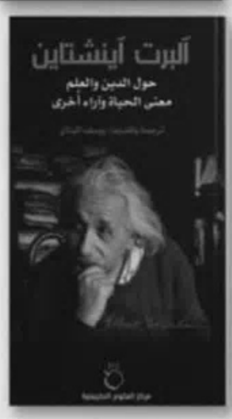

علم المكان


نظرية كل شيء
أصل ومصير الكون
ترجمة وتعليق: يوسف البناي


ثورات الفيزياء
في القرن العشرين
يوسف البناي
kalemat


طبيعة القانون الفيزيائي
ريتشارد فاينمان
ترجمة وتعليق
يوسف البناي
شوان حميد
مركز العلوم الطبيعية


ميكانيكا الكم
بين الفلسفة والعلم


ألبرت أينشتاين
حول الدين والعلم
معنى الحياة وآراء أخرى
مركز العلوم الطبيعية

[1]

apparent magnitude [2] ( ).

[3] ( ).

[4] ( ). Luminosi

[6] ( ). [5] ( ).

[8] ( ). [7]

[9] ( ).

[10]

[11] ( ).

[12] ( ). 300 300

[13] ( )

على آخر وأفضل الأرصاد الفلكية التي أفضت إلى اكتشاف الطاقة المظلمة، نقول بأن الكون يزداد في معدل سرعة تمدده بمقدار ١٦٠ كيلومتر/ ثانية في كل مليون سنة ضوئية (المترجم) [14]

ر في كتابنا

[15] قدمة إلى النظرية النسبية العامة. (المترجم)

ت، من مئات إلى آلاف المجرات المرتبطة ببعضها عن طريق قوة الجاذبية المتبادلة بينهما (المترجم) [16] تُذكر مرة أُخرى بأن أفضل تقدير لعمر الكون الآن هو ١٣٫٨ مليار عام (المترجم) [17] الفردانية هي النقطة التي تنهار فيها قوانين الفيزياء والرياضيات بحيث تعطي نتائج بلا معنى مثل الأصفار واللانهايات. سيتكرر هذا المصطلح معك في ما تبقى من الكتاب (المترجم) [18]

Light cone

Philosophical [19] قدمة إلى النظرية النسبية العامة. (المترجم)

Transactions of the Royal Society [20]

علان عن اكتشافها العام الماضي من قبل مرصد اللايغو LIGO (المترجم) [21]

شتقاق الرياضي لهذه الحلول في فصل الثقوب السوداء من كتابنا } البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ مقدمة إلى النظرية النسبية العامة{. (المترجم) [22]

لعبة على شكل بيضة خشبية ذات رأس مستدير وفي أسفلها مسمار يُدار عليها خيط يمسك نصفها ويظل طرفه عالقاً بأحد أصابع اليد عندما تُرمى أرضاً لتدور على نفسها دورات سريعة جداً (المترجم) [23]

Interstellar

Private (المترجم) [24]

خبارية بريطانية ساخرة تأسست عام ١٩٦١ (المترجم) [25]

Penthouse: مجلة بريطانية إباحية (المترجم) [26]

من المجلات ومن سخرية القدر أن كيب ثورن قد نال جائزة نوبل في الفيزياء في هذا الشهر سبتمبر ٢٠١٧ مع راينر وايس و باري باريش كونهم مؤسسي مرصد اللايغو (المترجم) [27]

بحسب نظرية المجال الكمي فإن كل حقل له جسيم كمومي خاص به، فكما لحقل الضوء " فوتونات" ، فإن حقل الجاذبية يُعتقد بأن له جسيمات تسمى " غرافيتونات" . (المترجم) [28]

الجسيمات الإفتراضية ليست جسيمات عادية كالإلكترون والفوتون، فهي ذات عمر قصير جداً جداً يتم تحديده من علاقة عدم اليقين (المترجم) [29]

كتابنا } البُنية الواسعة للزمان والمكان؛ مقدمة إلى النظرية النسبية العامة{. (المترجم) [30]

شعاع هوكينغ مختبرياً

شعارٍ آخر (المترجم) [31]

10^{66} [32] (المترجم).

صفراً (المترجم) [33]

ليصبح عدد ، كواكب المجموعة الشمسية ثمانية (المترجم) [34]

كتابنا } ميكانيكا الكم بين الفلسفة والعلم{. (المترجم) [35]

دليل مباشر وقاطع يثبت وجودها من عدمه (المترجم) [36]